

**ANALISIS PENEMPATAN REAKTOR SERI UNTUK MEMBATASI
ARUS GANGGUAN HUBUNG SINGKAT
DI GARDU INDUK PANDAAN**

SKRIPSI



**Disusun Oleh :
ILHAM NANDA GANGGA KUSWARA
1312027**

**KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK
PROGAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2017**

LEMBAR PERSETUJUAN

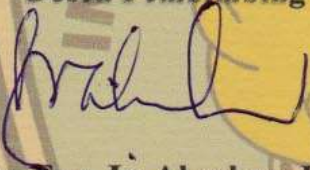
ANALISIS PENEMPATAN REAKTOR SERI UNTUK MEMBATASI ARUS GANGGUAN HUBUNG SINGKAT DI GARDU INDUK PANDAAN

*Disusun dan diajukan untuk melengkapi dan memenuhi persyaratan
guna mencapai gelar Sarjana Teknik*


Disusun oleh :
ILHAM NANDA GANGGA KUSWARA
NIM. 1312027

Diperiksa dan Disetujui,

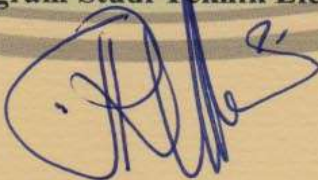
Dosen Pembimbing I


Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE.
NIP.Y. 1018500108

Dosen Pembimbing II


Lauhil Mahfudz Hayusman, ST, MT.
NIP. P. 1031400472

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1


Dr. Irrine Budi Sulistiawati., ST., MT.
NIP. 197706152005012002

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

2017

**ANALISIS PENEMPATAN REAKTOR SERI UNTUK MEMBATASI
ARUS GANGGUAN HUBUNG SINGKAT
DI GARDU INDUK PANDAAN**

**Ilham Nanda Gangga Kuswara
1312027**

**Konsentrasi Energi Listrik, Jurusan Teknik Elektro S-1
Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang
Jl. Raya Karanglo Km.2 Malang
E-mail : ilhamnandaganggakuswara@gmail.com**

ABSTRAK

Gangguan hubung singkat sering terjadi pada sistem tenaga listrik yang dapat mengakibatkan terganggunya distribusi tenaga listrik ke konsumen. Gangguan dapat disebabkan oleh beberapa hal seperti, gangguan karena kelalaian manusia, gangguan dari dalam sistem, misalnya Karena faktor usia, gangguan dari luar sistem, biasanya karena faktor alam, contohnya cuaca, gempa, petir, banjir, pohon, dan lain – lain. Alternatif lain yang dapat dilakukan untuk mengatasi besarnya arus hubung singkat yang terjadi adalah dengan menggunakan peralatan pembatas arus yang berfungsi untuk membatasi besar arus gangguan hubung singkat tersebut. Salah satunya reaktor pembatas arus. Disamping kemampuannya dalam membatasi arus hubung singkat, reaktor pembatas arus mempunyai dampak negatif seperti jatuh tegangan. Sehingga perlu dilakukan evaluasi terhadap reaktor pembatas arus yang digunakan. Skripsi ini akan membahas analisis penempatan reaktor seri untuk membatasi arus hubung singkat di Gardu Induk Pandaan menggunakan software ETAP. Reaktor pembatas arus ditempatkan dengan sistem reaktor generator yang kapasitasnya pada bus-02 sebesar 60.14 ohm, pada bus-03 sebesar 77.47, pada bus-04 sebesar 57.59. Setelah pemasangan Current Limiting Reactor gangguan arus gangguan hubung singkat menjadi turun dari 9661 pada setiap bus (20kv) menjadi 8383 pada bus-2, 8736 pada bus-3, 8317 pada bus-4.

Kata kunci :Current Limiting Reactor, Distribusi, ETAP, Gangguan hubung singkat, Sistem tenaga listrik,

**PLACEMENT ANALYSIS OF REACTOR SERIES TO RESTRICT
AREAS OF BROUGHT DISRUPTION
IN SUBSTATION PANDAAN**

**Ilham Nanda GanggaKuswara
1312027**

**Concentration of Electrical Energy, Department of Electrical Engineering S-
1**

**Faculty of Industrial Technology, National Institute of Technology of Malang
Jl. Raya Karanglo Km.2 Malang
E-mail: ilhamnandaganggakuswara@gmail.com**

ABSTRACT

Short circuit breaks often occur in power systems that can disrupt the distribution of electricity to consumers. Disorders can be caused by several things such as disturbance due to human negligence, disturbance from within the system, eg due to age factor, disturbance from outside the system, usually due to natural factors, eg weather, earthquakes, lightning, floods, trees, and others. Another alternative that can be done to overcome the amount of short circuit current that occurs is by using the current limiting equipment serves to limit the amount of short circuit current flows. One of them is a current limiting reactor. In addition to its ability to limit short-circuit current, current-limiting reactors have negative effects such as voltage drop. So it is necessary to evaluate the current limiting reactor used. This thesis will discuss the analysis of series reactor placement to limit short circuit current in Pandaan Substation using ETAP software. The current limiting reactor is placed with a generator reactor system whose capacity at bus-02 is 60.14 ohm, at bus-03 of 77.47, at bus-04 of 57.59. After the installation of the Current Limiting Reactor the interruption of the short circuit current falls down from 9661 on each bus (20kv) to 8383 on bus-2, 8736 on bus-3, 8317 on bus-4.

Keywords: Current Limiting Reactor, Distribution, ETAP, Short circuit interruption, Power system,

KATA PENGANTAR

Puji Syukur Kehadiran Allah SWT atas berkat dan rahmat-Nya, sehingga penyusunan laporan skripsi ini dapat diselesaikan. Penyusun menyadari tanpa adanya kemauan dan usaha serta bantuan dari berbagai pihak, maka laporan ini tidak dapat diselesaikan dengan baik. Oleh sebab itu, penyusun mengucapkan terimakasih kepada yang terhormat :

1. Bapak Dr. Ir.Lalu Mulyadi, MT selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang.
2. Bapak Dr. Ir. Yudi Limpraptono, MT selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional Malang.
3. Ibu Dr. Irrine Budi Sulistiawati, ST, MT selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1 Institut Teknologi Nasional Malang.
4. Bapak Prof.Dr.Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE selaku Dosen Pembimbing 1.
5. Bapak Lauhil Mahfudz Hayusman, ST, MT selaku Dosen Pembimbing 2.
6. Bapak pimpinan PT. PLN APP Probolinggo.
7. Kedua orang tua dan teman-teman yang turut memberikan dukungan terhadap penyelesaian skripsi ini.

Penyusun menyadari bahwa masih banyaknya kekurangan yang terdapat pada skripsi ini, oleh karena itu penyusun berharap para pembaca dapat memberikan kritik dan saran yang membangun agar skripsi ini menjadi lebih sempurna.

Malang, Juli 2017

Penyusun

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEBAR PERSETUJUAN	ii
ABSTRAK	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR GAMBAR	vii

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1	L
atarBelakang	1
1.2	R
umusanMasalah	2
1.3	T
ujuan.....	2
1.4	B
atasanMasalah	3
1.5	S
istimatikaPenulisan	3

BAB II KAJIAN PUSTAKA

2.1	T
injauanUmum.....	5
2.2	T
ipeSistemJaringanDistribusiTenagaListrik	6
2.2.1	S
istemradial terbuka	6
2.2.2	S
istemradial paralel	8
2.2.3	S
istemrangkaiantertutup	9

2.2.4.....	S
istemnetwork/mesh	11
2.2.5.....	S
isteminterkoneksi.....	12
2.3.....	D
ayaDalamSistemTenagaListrik	14
2.3.1.....	D
ayaaktif (<i>Active Power</i>)	15
2.3.2.....	D
ayareaktif (<i>Reactive Power</i>)	15
2.3.3.....	D
ayasemu (<i>Apperent Power</i>)	16
2.4.....	F
aktorDaya (<i>Power Factor</i>).....	16
2.4.1.....	F
aktordayaterbelakang (<i>Lagging</i>).....	17
2.4.2.....	F
aktordayaterdahulu (<i>Leading</i>)	17
2.5.....	G
angguanHubungSingkat	18
2.5.1.....	G
angguanhubungsingkatsimetri.....	18
2.5.2.....	G
angguanhubungsingkattidaksimetri.....	18
2.6.....	C
urrent Limiting Reactor	19
2.7.....	P
enempatanReaktor	22

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1.....	P
engumpulan Data.....	25

3.2.....	P
engolahan Data.....	25
3.3.....	S
oftware ETAP Power Station.....	25
3.4.....	S
hort Circuit.....	27
3.5.....	A
lgoritma Penelitian	27
3.6.....	F
lowchart Penyelesaian Masalah	29

BAB IV SIMULASI DAN HASIL

4.1.....	A
nalysis Arus Gangguan Hubung Singkat Sebelum Pemasang	
an <i>Current Limiting Reactor</i>	30
4.1.1.....	S
imulasi <i>Short Circuit</i> pada bus-2.....	31
4.1.2.....	S
imulasi <i>Short Circuit</i> pada bus-3.....	33
4.1.3.....	S
imulasi <i>Short Circuit</i> pada bus-4.....	36
4.2.....	P
erhitungan Rating <i>Current Limiting Reactor</i>	38
4.2.1.....	P
erhitungan rating <i>Current Limiting Reactor</i> pada	
bus-2	39
4.2.2.....	P
erhitungan rating <i>Current Limiting Reactor</i> pada	
bus-3	39
4.2.3.....	P
erhitungan rating <i>Current Limiting Reactor</i> pada	
bus-4	39

4.3.....	P
emasangan <i>Current Limiting Reactor</i>	40
4.3.1	P
emasangan <i>Current Limiting Reactor</i> pada bus-2.....	40
4.3.2.....	P
emasangan <i>Current Limiting Reactor</i> pada bus-3.....	42
4.3.3.....	P
emasangan <i>Current Limiting Reactor</i> pada bus-4.....	45
4.4.....	P
erbandingan Arus Hubung Singkat	48

BAB V PENUTUP

5.1	Kesimpulan.....	49
5.2	Saran	49

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Data arus sebelum dan sesudah terjadinya gangguan hubung singkat.....	38
Tabel 4.2	Perbandingan arus hubung singkat sebelum pemasangan CLR dan setelah pemasangan CLR	48

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Proses PenyaluranEnergiListrik	5
Gambar 2.2	SistemJaringan Radial Terbuka.....	7
Gambar 2.3	SistemJaringanRangkaianTertutup	10
Gambar 2.4	SistemJaringan Network/Mesh	12
Gambar 2.5	SistemJaringanInterkoneksi	14
Gambar 2.7	<i>Arustertinggaldaritegangansebesarsudut ϕ</i>	17
Gambar 2.8	<i>ArusMendahuluiTeganganSebesarSudut ϕ</i>	17
Gambar 2.9	GangguanHubungSingkatSimetris	18
Gambar 2.10	GangguanHubungSingkatSatuPhasake Tanah (LG)	19
Gambar 2.11	GangguanHubungSingkatDuaPhasake Tanah (LLG)	19
Gambar 2.12	GangguanHubungSingkatAntarPhasa (LL)	19

Gambar 2.13	Reaktor	20
Gambar 2.14	PenampangMelintangReaktor	21
Gambar 2.15	Reaktor Generator	22
Gambar 2.16	Sistem <i>Straight bus</i>	23
Gambar 2.17	Sistem <i>ring bus</i>	23
Gambar 2.18	Sistem <i>star bus</i>	23
Gambar 2.19	Reaktorpenyulang	24
Gambar 4.1	<i>Single Line</i> diagram garduindukpandaan	30
Gambar 4.2	Simulasigangguanhubungsingkat 3-fasa bus-2	31
Gambar 4.3	Simulasigangguanhubungsingkat <i>Line to Ground</i> pada bus-2	31
Gambar 4.4	Simulasigangguanhubungsingkat <i>Line to Line</i> pada bus-2.....	32
Gambar 4.5	Simulasigangguanhubungsingkat <i>Line to Line</i> pada bus-2to <i>Ground</i> padabus-2	32
Gambar 4.6	Simulasigangguanhubungsingkat 3-fasa pada bus-3.....	33
Gambar 4.7	Simulasigangguanhubungsingkat <i>Line to Ground</i> pada bus-3	34
Gambar 4.8	Simulasigangguanhubungsingkat <i>Line to Line</i> pada bus-3	34
Gambar 4.9	Simulasigangguanhubungsingkat <i>Line to Line to Ground</i> pada bus-3	35
Gambar 4.10	Simulasigangguanhubungsingkat 3-fasapada bus-4.....	36
Gambar 4.11	Simulasigangguanhubungsingkat <i>Line to Ground</i> pada bus-4	36
Gambar 4.12	Simulasigangguanhubungsingkat <i>Line to Line</i> pada bus-4.....	37
Gambar 4.13	Simulasigangguanhubungsingkat <i>Line to Line to Ground</i> pada bus-4	37
Gambar 4.14	CLR di pasangpada bus-2	40
Gambar 4.15	Simulasigangguanhubungsingkat 3-fasa pada bus-2 setelah di pasang CLR	40
Gambar 4.16	Simulasigangguanhubungsingkat <i>Line to Ground</i> pada bus-2 setelah di pasang CLR.....	41
Gambar 4.17	Simulasigangguanhubungsingkat <i>Line to Line</i> pada bus-2 setelah dipasang CLR.....	41
Gambar 4.18	Simulasigangguanhubungsingkat <i>Line to Line to Ground</i> pada	

	bus-2setelah di pasang CLR.....	42
Gambar 4.19	CLR di pasangpada bus-3	42
Gambar 4.20	Simulasigangguanhubungsingkat 3-fasa pada bus-3 setelah di pasang CLR.....	43
Gambar 4.21	Simulasigangguanhubungsingkat <i>Line to Ground</i> pada bus-3 setelah di pasang CLR.....	43
Gambar 4.22	Simulasigangguanhubungsingkat <i>Line to Line</i> padabus-3 setelah dipasang CLR.....	44
Gambar 4.23	Simulasigangguanhubungsingkat <i>Line to Line to Ground</i> pada bus-3setelah di pasang CLR.....	45
Gambar 4.24	CLR di pasangpada bus-4	45
Gambar 4.25	Simulasigangguanhubungsingkat 3-fasa pada bus 04 setelah d pasang CLR.....	46
Gambar 4.26	Simulasigangguanhubungsingkat <i>Line to Ground</i> pada bus 04 setelah di pasang CLR.....	46
Gambar 4.27	Simulasigangguanhubungsingkat <i>Line to Line</i> pada bus-4 setelah dipasang CLR.....	47
Gambar 4.28	Simulasigangguanhubungsingkat <i>Line to Line to Ground</i> pada bus-4setelah di pasang CLR.....	47

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem tenaga saat ini, peningkatan permintaan energi membebani pengembangan dalam pembangkitan dan penyaluran. Sebagai konsekuensi dari pembangkitan dan pembangunan sistem penyaluran, akan menambah gangguan hubung singkat.^[1] Gangguan biasanya ditimbulkan oleh gangguan hubung singkat antar fase atau hubung singkat fase ke tanah. Suatu gangguan distribusi hampir selalu berupa hubung langsung atau melalui impedansi. Istilah gangguan biasanya identik dengan hubung singkat, sesuai standar ANSI/IEEE Std. 100-1992. Mengatasi gangguan, perlu dilakukan analisis hubung singkat sehingga sistem proteksi yang dapat ditentukan. Analisis hubung singkat mempelajari kontribusi arus gangguan hubung singkat yang mungkin mengalir pada setiap cabang di dalam sistem (di jaringan distribusi, transmisi, trafo tenaga atau dari pembangkit) sewaktu gangguan hubung singkat yang mungkin terjadi di dalam sistem tenaga listrik.

Terjadinya hubung singkat mengakibatkan timbulnya lonjakan arus lebih tinggi dari keadaan normal dan tegangan di tempat tersebut menjadi sangat rendah yang dapat mengakibatkan kerusakan pada isolasi, kerusakan mekanis pada konduktor, bunga api listrik, dan keadaan terburuk yaitu kegagalan operasi sistem secara keseluruhan.

Kemampuan pemutus arus gangguan (*breaking capacity*) dari peralatan seperti pemutus tenaga (*circuit breaker*) tidak dapat diperbaharui. Dengan kata

lain, untuk meningkatkan kemampuan pemutusan dari suatu pemutus tenaga (PMT) hanya dapat dilakukan dengan mengganti pemutus tenaga tersebut. Jika hal ini dilakukan, maka akan membutuhkan investasi yang sangat besar karena diikuti dengan penggantian *switchgear* dan peralatan lainnya. Dalam sisi teknik, penggantian *switchgear* tidak dapat mengurangi besarnya arus gangguan hubung singkat yang terjadi.

Gangguan dapat disebabkan oleh beberapa hal seperti, gangguan karena kesalahan manusia (kelalaian), gangguan dari dalam sistem, misalnya karena faktor ketuaan, arus lebih, tegangan lebih sehingga merusak isolasi peralatan, gangguan dari luar sistem, biasanya karena faktor alam. Contohnya cuaca, gempa, petir, banjir, pohon, dan lain – lain.

Alternatif lain yang dapat dilakukan untuk mengatasi besarnya arus hubung singkat yang terjadi adalah dengan menggunakan peralatan pembatas arus yang berfungsi untuk membatasi besar arus gangguan hubung singkat tersebut. Salah satunya reaktor pembatas arus. Disamping kemampuannya dalam membatasi arus hubung singkat, reaktor pembatas arus mempunyai dampak negatif seperti jatuh tegangan. Sehingga perlu dilakukan evaluasi terhadap reaktor pembatas arus yang digunakan.^[2]

Untuk itu, skripsi ini akan membahas analisis penempatan reaktor seri untuk membatasi arus hubung singkat di Gardu Induk Pandaan. Berdasarkan penempatannya di dalam sistem, reaktor dapat diklasifikasikan menjadi tiga, yaitu: reaktor pembatas arus generator, reaktor pembatas arus busbar dan reaktor pembatas arus feeder.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan di bahas pada skripsi ini adalah sebagai berikut :

- 1) Bagaimana cara untuk membatasi arus gangguan hubung singkat yang terjadi pada di Gardu Induk Pandaan?
- 2) Bagaimana cara penempatan reaktor seri di Gardu Induk Pandaan agar dapat bekerja pada saat adanya gangguan hubung singkat ?

- 3) Berapa nilai kapasitas *Current Limiting Reactor* yang tepat untuk mereduksi arus gangguan hubung singkat?
- 4) Bagaimana perbandingan sesudah dan sebelum pemasangan *Current Limiting Reactor*?

1.3 Tujuan

Berdasarkan permasalahan yang dikemukakan di atas maka, tujuan dalam skripsi adalah :

- 1) Untuk menganalisis cara membatasi arus gangguan hubung singkat yang terjadi pada di Gardu Induk Pandaan?
- 2) Untuk menganalisis cara penempatan reaktor seri di Gardu Induk Pandaan agar dapat bekerja pada saat adanya gangguan hubung singkat ?
- 3) Untuk menganalisis nilai kapasitas *Current Limiting Reactor* yang tepat untuk mereduksi arus gangguan hubung singkat?
- 4) Untuk menganalisis perbandingan sesudah dan sebelum pemasangan *Current Limiting Reactor*?

1.4 Batasan Masalah

Agar pembahasan tidak menyimpang dari permasalahan dan tujuan yang ada maka pembahasan dibatasi sebagai berikut :

1. Analisa dilakukan pada Gardu Induk Pandaan.
2. Alat yang digunakan adalah *Current Limiting Reactor*.
3. Gangguan di simulasikan pada semua bus beban.
4. Analisa dilakukan menggunakan *Software ETAP Power Station*.

1.5 Sistematika Penulisan

Dalam penyusunan skripsi ini disusun menjadi beberapa bab dan diuraikan dengan pembahasan sesuai daftar isi. Sistematika penyusunannya adalah sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini berisikan tentang penjelasan mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II : LANDASAN TEORI

Bab ini membahas tentang teori sistem jaringan distribusi dan pengertian CLR

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Membahas tentang pengumpulan data-data yang diperlukandalam penyusunan skripsi ini. Pada bagian ini maka data di modelkan dalam *software ETAP Power Station*.

BAB IV : ANALISIS HASIL

Bab ini menjelaskan hasil mengenai analisis penempatan reaktor seri untuk membatasi arus hubung singkat di Gardu Induk Pandaan.

BAB V : PENUTUP

Bab ini berisikan kesimpulan – kesimpulan yang diperoleh dari perancangan dan pembuatan skripsi ini serta saran – saran guna menyempurnakan dan mengembangkan sistem lebih lanjut.

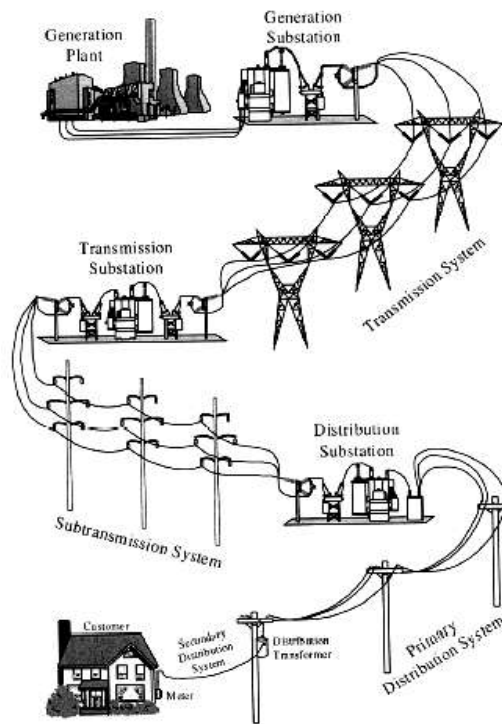
DATAR PUSTAKA

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Sistem penyaluran tenaga listrik dari pembangkit tenaga listrik kekonsumen (beban), merupakan hal penting untuk dipelajari. Mengingat penyaluran tenaga listrik ini, prosesnya melalui beberapa tahap, yaitu dari pembangkit tenaga listrik penghasil energi listrik, disalurkan ke jaringan transmisi (SUTET) langsung ke gardu induk. Dari gardu induk tenaga listrik disalurkan ke jaringan distribusi primer (SUTM), dan melalui gardu distribusi langsung ke jaringan distribusi sekunder (SUTR), tenaga listrik dialirkan kekonsumen. Dengan demikian sistem distribusi tenaga listrik berfungsi membagikan tenaga listrik kepada pihak pemakai melalui jaringan tegangan rendah (SUTR), sedangkan suatu saluran transmisi berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik bertegangan ekstra tinggi ke pusat-pusat beban dalam daya yang besar (melalui jaringan distribusi).



Gambar 2.1 Proses Penyaluran Energi Listrik

Pada gambar dapat dilihat, bahwa tenaga listrik yang dihasilkan dan dikirimkan ke konsumen melalui Pusat Pembangkit Tenaga Listrik, Gardu Induk, Saluran Transmisi, Gardu Induk, Saluran Distribusi, dan kemudian ke beban (konsumen tenaga listrik).^[3]

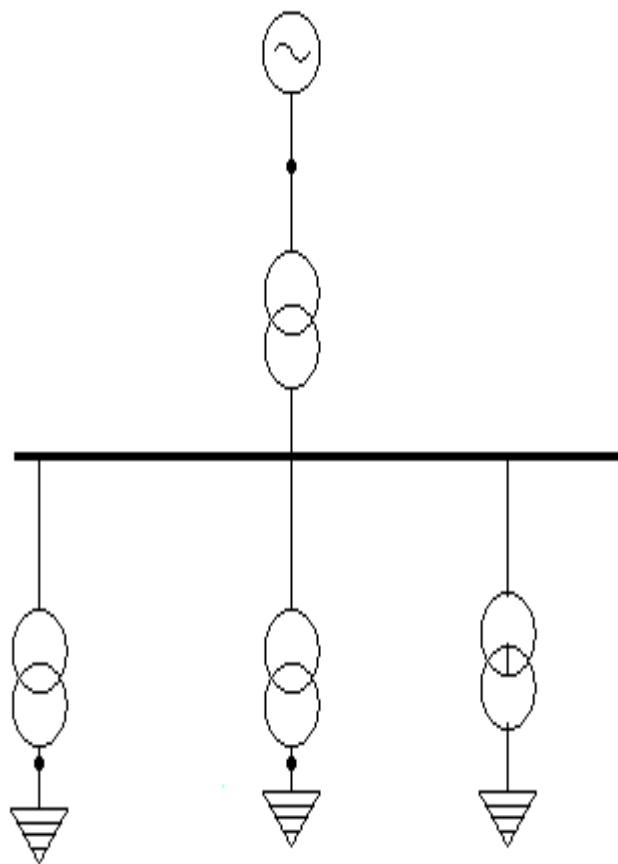
Distribusi primer disebut juga tegangan menengah, yaitu jaringan yang menghubungkan gardu induk dengan gardu distribusi yang biasanya menggunakan tegangan distribusi 6 kV, 7 kV, 12 kV, 20 kV. Jaringan Distribusi Primer atau JTM merupakan fasa-tiga sedangkan jaringan distribusi sekunder atau Jaringan Tegangan Rendah (JTR) merupakan fasa-tunggal dan fasa-tiga dengan empat kawat. Di Indonesia umumnya tegangan yang digunakan pada sistem distribusi jaringan tegangan rendah adalah 380/220 volt.

2.2 Tipe Sistem Jaringan Distribusi Tenaga Listrik^[3]

Sistem jaringan distribusi di klasifikasikan berdasarkan bentuk jaringan.

2.2.1 Sistem radial terbuka

Sistem radial pada jaringan distribusi merupakan sistem terbuka, dimana tenaga listrik yang disalurkan secara radial melalui gardu induk ke konsumen. Konsumen dilakukan secara terpisah satu sama lainnya. Sistem ini merupakan sistem yang paling sederhana di antara sistem yang lain dan paling murah, sebab sesuai konstruksinya sistem ini menghemat sedikit sekali penggunaan material listrik, apalagi jika jarak penyaluran antara gardu induk ke konsumen tidak terlalu jauh.



Gambar 2.2 Sistem Jaringan Radial Terbuka

Keuntungannya :

- a. Konstruksinya lebih sederhana
- b. Material yang digunakan lebih sedikit, sehingga lebih murah

- c. Sistem pemeliharaannya lebih murah
- d. Untuk penyaluran jarak pendek akan lebih murah

Kelemahannya :

- a. Keterandalan sistem ini lebih rendah
- b. Faktor penggunaan konduktor 100 %
- c. Makin panjang jaringan (dari Gardu Induk atau Gardu Hubung) kondisi tegangan tidak dapat diandalkan
- d. Rugi-rugi tegangan lebih besar
- e. Kapasitas pelayanan terbatas
- f. Bila terjadi gangguan penyaluran daya terhenti.

Sistem radial terbuka ini paling tidak dapat diandalkan, karena penyaluran tenaga listrik hanya dilakukan dengan menggunakan satu saluran saja. Jaringan model ini sewaktu mendapat gangguan akan menghentikan penyaluran tenaga listrik cukup lama sebelum gangguan tersebut diperbaiki kembali. Oleh sebab itu kontinuitas pelayanan pada sistem radial terbuka ini kurang bisa diandalkan. Selain itu makin panjang jarak saluran dari gardu induk ke konsumen, kondisi tegangan makin tidak bisa diandalkan, justru bertambah buruk karena rugi-rugi tegangan akan lebih besar. Berarti kapasitas pelayanan untuk sistem radial terbuka ini sangat terbatas.

2.2.2 Sistem radial paralel

Untuk memperbaiki kekurangan dari sistem radial terbuka diatas maka dipakai konfigurasi sistem radial paralel, yang menyalurkan tenaga listrik melalui dua saluran yang diparalelkan. Pada sistem ini titik beban dilayani oleh dua saluran, sehingga bila salah satu saluran mengalami gangguan, maka saluran yang satu lagi dapat menggantikan melayani, dengan demikian pemadaman tak perlu terjadi. Kontinuitas pelayanan sistem radial paralel ini lebih terjamin dan kapasitas pelayanan bisa lebih besar dan sanggup melayani beban maksimum (*peak load*) dalam batas yang diinginkan. Kedua saluran dapat dikerjakan untuk melayani titik beban bersama-sama. Biasanya titik beban hanya dilayani oleh salah satu saluran saja. Hal ini dilakukan untuk menjaga kontinuitas pelayanan pada konsumen.

Keuntungannya :

- a. Kontinuitas pelayanan lebih terjamin, karena menggunakan dua sumber
- b. Kapasitas pelayanan lebih baik dan dapat melayani beban maksimum
- c. Kedua saluran dapat melayani titik beban secara bersama
- d. Bila salah satu saluran mengalami gangguan, maka saluran yang satu lagi dapat menggantikannya, sehingga pemadaman tak perlu terjadi.
- e. Dapat menyalurkan daya listrik melalui dua saluran yang diparalelkan

Kelemahannya :

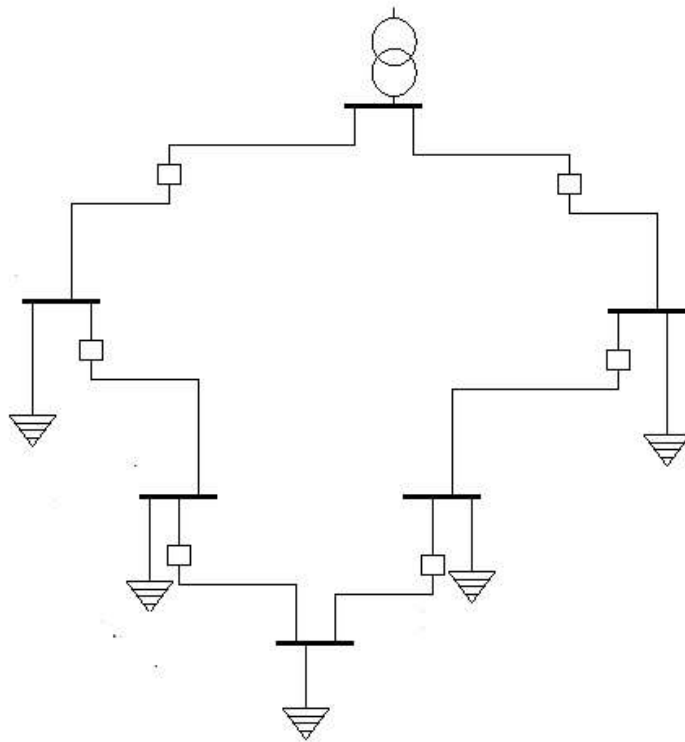
- a. Peralatan yang digunakan lebih banyak terutama peralatan proteksi
- b. Biaya pembangunan lebih mahal

2.2.3 Sistem rangkaian tertutup

Sistem rangkaian tertutup pada jaringan distribusi merupakan suatu sistem penyaluran melalui dua atau lebih saluran feeder yang saling berhubungan membentuk rangkaian berbentuk cincin.

Sistem ini secara ekonomis menguntungkan, karena gangguan pada jaringan terbatas hanya pada saluran yang terganggu saja. Sedangkan pada saluran yang lain masih dapat menyalurkan tenaga listrik dari sumber lain dalam rangkaian yang tidak terganggu. Sehingga kontinuitas pelayanan sumber tenaga listrik dapat terjamin dengan baik.

Yang perlu diperhatikan pada sistem ini apabila beban yang dilayani bertambah, maka kapasitas pelayanan untuk sistem rangkaian tertutup ini kondisinya akan lebih jelek. Tetapi jika digunakan titik sumber (Pembangkit Tenaga Listrik) lebih dari satu di dalam sistem jaringan ini maka sistem ini akan banyak dipakai, dan akan menghasilkan kualitas tegangan lebih baik, serta regulasi tegangannya cenderung kecil.



Gambar 2.3 Sistem Jaringan Rangkaian Tertutup

Keuntungannya :

- a. Dapat menyalurkan daya listrik melalui satu atau dua saluran feeder yang saling berhubungan
- b. Menguntungkan dari segi ekonomis
- c. Bila terjadi gangguan pada saluran maka saluran yang lain dapat menggantikan untuk menyalurkan daya listrik
- d. Konstinitas penyaluran daya listrik lebih terjamin
- e. Bila digunakan dua sumber pembangkit, kapasitas tegangan lebih baik dan regulasi tegangan cenderung kecil
- f. Dalam kondisi normal beroperasi, pemutus beban dalam keadaan terbuka
- g. Biaya konstruksi lebih murah
- h. Faktor penggunaan konduktor lebih rendah, yaitu 50 %
- i. Keandalan relatif lebih baik

Kelemahannya :

- a. Keterandalan sistem ini lebih rendah

- b. Drop tegangan makin besar
- c. Bila beban yang dilayani bertambah, maka kapasitas pelayanan akan lebih jelek

2.2.4 Sistem *network/mesh*

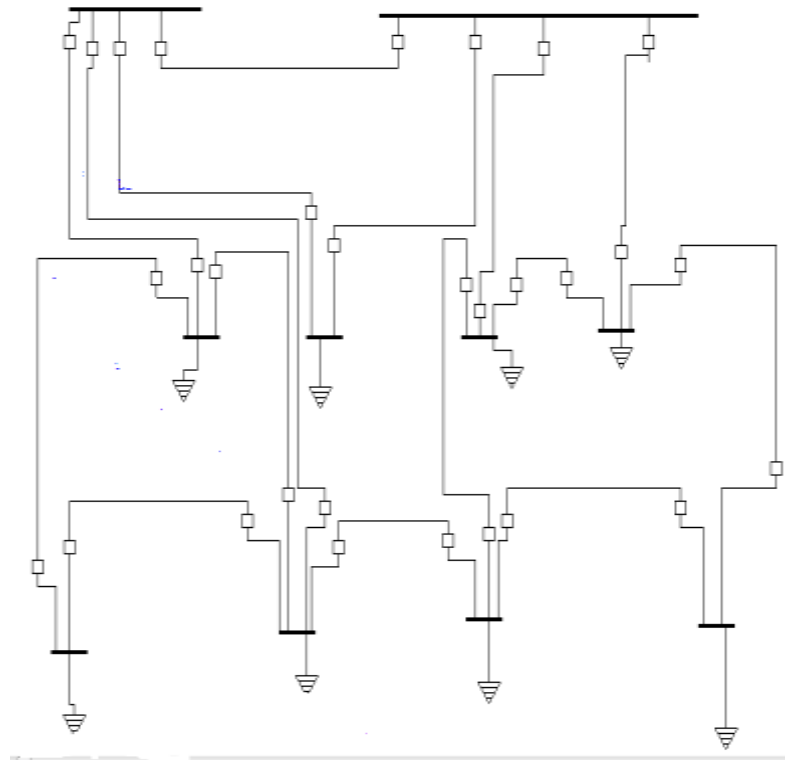
Sistem *network/mesh* ini merupakan sistem penyaluran tenaga listrik yang dilakukan secara terus-menerus oleh dua atau lebih feeder pada gardu-gardu induk dari beberapa Pusat Pembangkit Tenaga Listrik yang bekerja secara paralel. Sistem ini merupakan pengembangan dari sistem-sistem yang terdahulu dan merupakan sistem yang paling baik serta dapat diandalkan, mengingat sistem ini dilayani oleh dua atau lebih sumber tenaga listrik. Selain itu jumlah cabang lebih banyak dari jumlah titik feeder.

Keuntungannya:

- a. Penyaluran tenaga listrik dapat dilakukan secara terus-menerus (selama 24 jam) dengan menggunakan dua atau lebih feeder
- b. Merupakan pengembangan dari sistem-sistem yang terdahulu
- c. Tingkat keterandalannya lebih tinggi
- d. Jumlah cabang lebih banyak dari jumlah titik feeder
- e. Dapat digunakan pada daerah-daerah yang memiliki tingkat kepadatan yang tinggi.
- f. Memiliki kapasitas dan kontinuitas pelayanan sangat baik
- g. Gangguan yang terjadi pada salah satu saluran tidak akan mengganggu kontinuitas pelayanan

Kelemahannya :

- a. Biaya konstruksi dan pembangunan lebih tinggi
- b. Setting alat proteksi lebih sukar



Gambar 2.4 Sistem Jaringan Network/Mesh

Sistem ini dapat digunakan pada daerah-daerah yang memiliki kepadatan tinggi dan mempunyai kapasitas dan kontinuitas pelayanan yang sangat baik. Gangguan yang terjadi pada salah satu saluran tidak akan mengganggu kontinuitas pelayanan. Sebab semua titik beban terhubung paralel dengan beberapa sumber tenaga listrik.

2.2.5 Sistem interkoneksi

Sistem interkoneksi ini merupakan perkembangan dari sistem network/mesh. Sistem ini menyalurkan tenaga listrik dari beberapa Pusat Pembangkit Tenaga Listrik yang dikehendaki bekerja secara paralel. Sehingga penyaluran tenaga listrik dapat berlangsung terus menerus (tak terputus), walaupun daerah kepadatan beban cukup tinggi dan luas. Hanya saja sistem ini memerlukan biaya yang cukup mahal dan perencanaan yang cukup matang. Untuk perkembangan di kemudian hari, sistem interkoneksi ini sangat baik, bisa diandalkan dan merupakan sistem yang mempunyai kualitas yang cukup tinggi.

Pada sistem interkoneksi ini apabila salah satu Pusat Pembangkit Tenaga Listrik mengalami kerusakan, maka penyaluran tenaga listrik dapat dialihkan ke

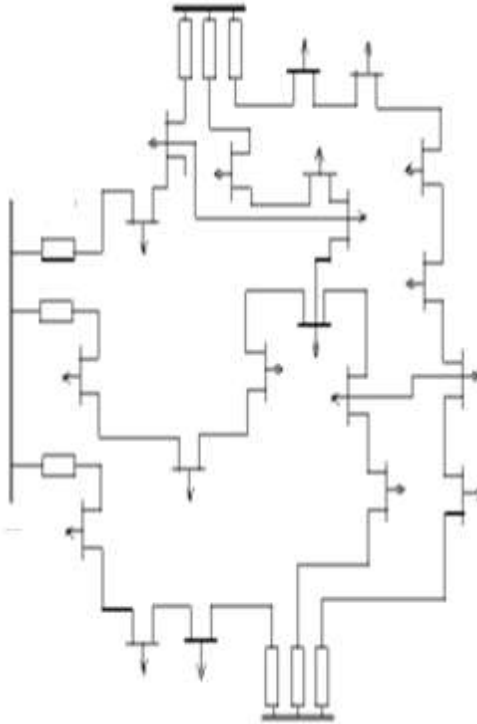
Pusat Pembangkit lain. Untuk Pusat Pembangkit yang mempunyai kapasitas kecil dapat dipergunakan sebagai pembantu dari Pusat Pembangkit Utama (yang mempunyai kapasitas tenaga listrik yang besar). Apabila beban normal sehari-hari dapat diberikan oleh Pusat Pembangkit Tenaga listrik tersebut, sehingga ongkos pembangkitan dapat diperkecil. Pada sistem interkoneksi ini Pusat Pembangkit Tenaga Listrik bekerja bergantian secara teratur sesuai dengan jadwal yang telah ditentukan. Sehingga tidak ada Pusat Pembangkit yang bekerja terus-menerus. Cara ini akan dapat memperpanjang umur Pusat Pembangkit dan dapat menjaga kestabilan sistem pembangkitan.

Keuntungannya :

- a. Merupakan pengembangan sistem *network / mesh*
- b. Dapat menyalurkan tenaga listrik dari beberapa Pusat Pembangkit Tenaga Listrik
- c. Penyaluran tenaga listrik dapat berlangsung terus-menerus (tanpa putus), walaupun daerah kepadatan beban cukup tinggi dan luas
- d. Memiliki keterandalan dan kualitas sistem yang tinggi
- e. Apabila salah satu Pembangkit mengalami kerusakan, maka penyaluran tenaga listrik dapat dialihkan ke Pusat Pembangkit lainnya.
- f. Bagi Pusat Pembangkit yang memiliki kapasitas lebih kecil, dapat dipergunakan sebagai cadangan atau pembantu bagi Pusat Pembangkit Utama (yang memiliki kapasitas tenaga listrik yang lebih besar)
- g. Ongkos pembangkitan dapat diperkecil
- h. Sistem ini dapat bekerja secara bergantian sesuai dengan jadwal yang telah ditentukan
- i. Dapat memperpanjang umur Pusat Pembangkit
- j. Dapat menjaga kestabilan sistem Pembangkitan
- k. Keterandalannya lebih baik
- l. Dapat di capai penghematan-penghematan di dalam investasi

Kelemahannya :

- a. Memerlukan biaya yang cukup mahal
- b. Memerlukan perencanaan yang lebih matang
- c. Saat terjadi gangguan hubung singkat pada penghantar jaringan, maka semua Pusat Pembangkit akan bergabung di dalam sistem dan akan ikut menyumbang arus hubung singkat ke tempat gangguan tersebut.
- d. Jika terjadi unit-unit mesin pada Pusat Pembangkit terganggu, maka akan mengakibatkan jatuhnya sebagian atau seluruh sistem.
- e. Perlu menjaga keseimbangan antara produksi dengan pemakaian
- f. Merepotkan saat terjadi gangguan petir



Gambar 2.5 Sistem Jaringan Interkoneksi

2.3 Daya Dalam Sistem Tenaga Listrik^[4]

Daya merupakan kecepatan (rate) berubahnya energi terhadap waktu dalam bentuk tegangan dan arus. Dalam sistem tenaga elektrik daya terbagi menjadi 3 bagian, antara lain :

2.3.1 Daya aktif (*Active Power*)

Daya aktif atau *active power* merupakan daya yang digunakan untuk melakukan suatu energi yang sebenarnya. Secara umum daya aktif dinyatakan oleh persamaan :

$$P = V_{L-N} \cdot I_{L-N} \cos \varphi \dots\dots\dots(2.1)$$

$$P = V_{L-L} \cdot I_{L-L} \cos \varphi \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan :

- P = daya aktif (watt)
- V_{L-N} = tegangan (volt)
- V_{L-L} = tegangan 3-fasa (volt)
- I_{L-N} = arus (amper)
- I_{L-L} = arus 3-fasa (amper)

2.3.2 Daya reaktif (*Reactive Power*)

Daya reaktif merupakan daya yang timbul karena adanya pembentukan medan magnet pada beban-beban induktif (Var). Secara umum persamaan daya reaktif adalah :

$$Q = V_{L-N} \cdot I_{L-N} \sin \varphi \dots\dots\dots(2.3)$$

$$Q = V_{L-L} \cdot I_{L-L} \sin \varphi \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan :

- Q = daya rata-rata yang disebut juga daya reaktif (var)
- V_{L-N} = tegangan (volt)
- V_{L-L} = tegangan 3-fasa (volt)
- I_{L-N} = arus (amper)
- I_{L-L} = arus 3-fasa (amper)

Daya reaktif terdiri dari dua macam yaitu daya reaktif induktif dan daya reaktif kapasitif, dimana keduanya memiliki tanda yang berlawanan. Daya reaktif kapasitif adalah daya yang dibutuhkan oleh kapasitor yang tidak menghasilkan kerja tetapi tersimpan dalam bentuk energi magnetis atau energi kapasitif.

Sedangkan daya reaktif induktif adalah daya listrik yang dibutuhkan untuk menghasilkan medan magnet yang dibutuhkan oleh alat-alat seperti motor induksi, transformator dan lain sebagainya.

2.3.3 Daya semu (*Apperent Power*)

Daya semu merupakan penjumlahan secara vectoris antara daya aktif dan daya reaktif yang memiliki persamaan sebagai berikut :

$$S = V_{L-N} \cdot I_{L-N} \dots \dots \dots (2.5)$$

$$S = \sqrt{3} V_{L-L} \cdot I_{L-L} \dots \dots \dots (2.6)$$

Keterangan:

- S = daya semu (va)
- V_{L-N} = tegangan (volt)
- V_{L-L} = tegangan 3-fasa (volt)
- I_{L-N} = arus (amper)
- I_{L-L} = arus 3-fasa (amper)

2.4 Faktor Daya (*Power Factor*)

Faktor daya atau disebut $\cos \phi$ merupakan sebagai perbandingan antara arus yang dapat menghasilkan kerja didalam suatu rangkaian terhadap arus total yang masuk kedalam rangkaian atau dapat dikatakan sebagai perbandingan daya aktif (kW) dan daya semu (kVA). Daya reaktif yang tinggi akan meningkatkan sudut ini dan sebagai hasilnya faktor daya akan menjadi lebih rendah. Faktor daya selalu lebih kecil atau sama dengan satu.

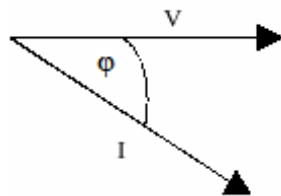
$$\cos \phi = \frac{\text{Daya nyata}}{\text{Daya semu}} \dots \dots \dots (2.7)$$

Sistem tenaga listrik terdapat 2 jenis faktor daya yaitufaktor daya terbelakang (*lagging*) dan faktor daya terdahulu (*leading*) yang ditentukan oleh jenis beban yang ada pada sistem.

2.4.1 Faktor daya terbelakang (*Lagging*)

Faktor daya terbelakang (*lagging*) adalah keadaan faktor daya saat memiliki kondisi-kondisi sebagai berikut :

1. Beban/ peralatan listrik memerlukan daya reaktif dari sistem atau beban bersifat induktif.
2. Arus (I) terbelakang dari tegangan (V), V mendahului I dengan sudut ϕ



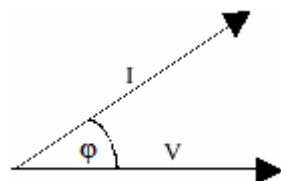
Gambar 2.7 Arus tertinggal dari tegangan sebesar sudut ϕ

Gambar 2.7 terlihat bahwa arus tertinggal dari tegangan maka daya reaktif mendahului daya semu, berarti beban membutuhkan atau menerima daya reaktif dari sistem

2.4.2 Faktor daya terdahulu (*Leading*)

Faktor daya mendahului (*leading*) adalah keadaan faktor daya saat memiliki kondisi-kondisi sebagai berikut :

1. Beban/ peralatan listrik memberikan daya reaktif dari sistem atau beban bersifat kapasitif.
2. Arus mendahului tegangan, V terbelakang dari I dengan sudut ϕ



Gambar 2.8 Arus Mendahului Tegangan Sebesar Sudut ϕ

Dari Gambar terlihat bahwa arus mendahului tegangan maka daya reaktif tertinggal dari daya semu, berarti beban memberikan daya reaktif kepada sistem

2.5 Gangguan Hubung Singkat

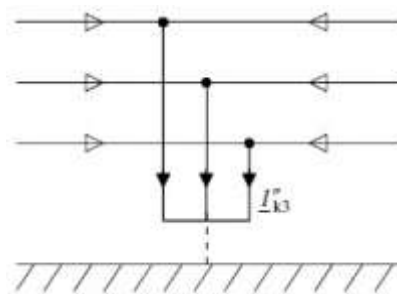
Hubung singkat sebagai salah satu gangguan dalam sistem tenaga listrik yang mempunyai karakteristik transient yang harus dapat diatasi oleh peralatan pengamanan.

Terjadinya hubung singkat mengakibatkan timbulnya lonjakan arus dengan magnitude lebih tinggi dari keadaan normal dan tegangan di tempat tersebut menjadi sangat rendah yang dapat mengakibatkan kerusakan pada isolasi, kerusakan mekanis pada konduktor, bunga api listrik, dan keadaan terburuk yaitu kegagalan operasi sistem secara keseluruhan.

Ada beberapa jenis gangguan hubung singkat atau short circuit pada sistem tenaga listrik yaitu:

2.5.1 Gangguan hubung singkat simetri

Hubung singkat ini terjadi pada sistem 3 fasa saja. Hubung singkat ini terjadi pada ketiga konduktor berarus terhubung singkat secara bersamaan. Jenis hubung singkat simetri hanya untuk hubung singkat 3 fasa ke tanah atau tanpa ke tanah



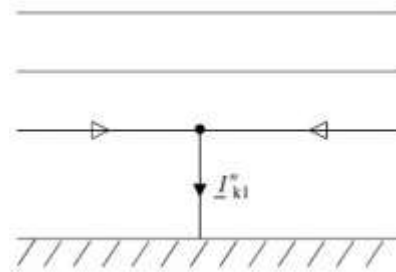
Gambar 2.9 Gangguan Hubung Singkat Simetris

2.5.2 Gangguan hubung singkat tidak simetri

Hubung singkat ini terjadi pada sistem 1 dan 3 fasa. Hubung singkat ini terjadi di antara konduktor berarus dengan atau tanpa ke tanah.

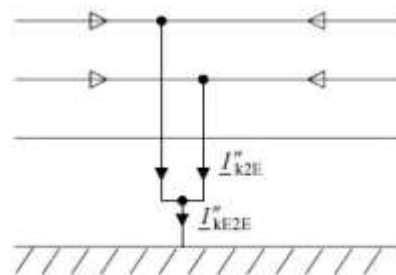
Hubung singkat tidak simetri ini dibagi menjadi :

- a. Satu phasa ke tanah (LG)



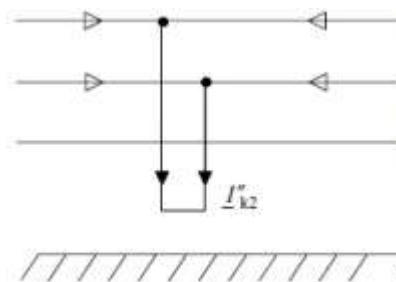
Gambar 2.10 Gangguan Hubung Singkat Satu Phasa ke Tanah (LG)

- b. Dua phasa ke tanah (LLG)



Gambar 2.11 Gangguan Hubung Singkat Dua Phasa ke Tanah (LLG)

- c. Antar phasa (LL)



Gambar 2.12 Gangguan Hubung Singkat Antar Phasa (LL)

2.6 Current Limiting Reactor^[1]

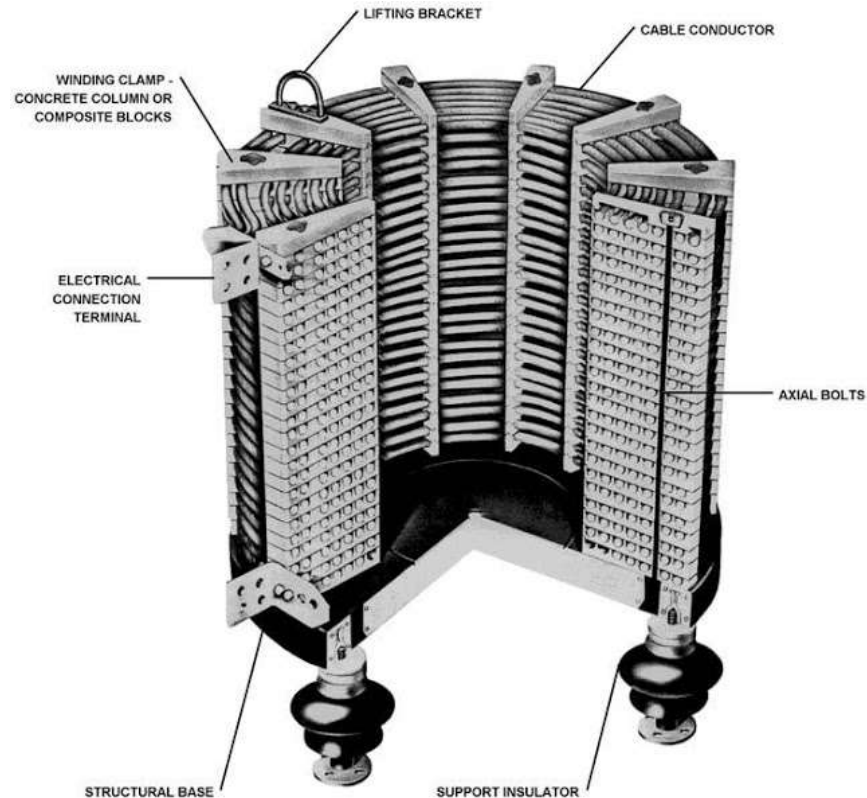
Arus hubung singkat mempunyai kemungkinan yang cukup besar untuk dapat menyebabkan kerusakan pada saluran dan peralatan lain yang terhubung dalam jaringan sistem tenaga. Kapasitas pemutusan dari suatu pemutus tenaga (PMT) harus mampu memutuskan arus hubung singkat yang terjadi.



Gambar 2.13 Reaktor

Arus yang dapat mengalir ketika hubung singkat terjadi tergantung pada besarnya impedansi saluran. Untuk menjaga arus hubung singkat dalam batas aman, dapat dilakukan dengan menaikkan nilai reaktansi antara sumber tenaga dan lokasi gangguan.

Salah satu metode yang digunakan untuk menaikkan nilai reaktansi dari jaringan tenaga listrik adalah dengan menggunakan peralatan *current limiting reactors (CLR)*. *Current limiting reactors* digunakan untuk mengurangi arus yang dapat mengalir ketika terjadi hubung singkat, dengan tujuan untuk menurunkan tingkat stress pada konduktor, pemutus tenaga, dan peralatan lain yang dialiri arus gangguan. Hal ini memungkinkan untuk dapat menggunakan pemutus tenaga dengan kapasitas pemutusan yang rendah.



Gambar 2.14 Penampang Melintang Reaktor

Untuk menentukan nilai reaktansi reactor yang digunakan, maka dapat digunakan persamaan (2.5) berikut ini :

$$XR = v_s \times \sqrt{3} \times \left[\frac{1}{I_{sCa}} - \frac{1}{I_{sCb}} \right] \dots \dots \dots (2.8)$$

Dikarenakan perhitungan arus hubung singkat menggunakan standar IEC 60909 dimana terdapat factor tegangan, maka persamaan (2.6) menjadi:

$$XR = c \times v_s \times \sqrt{3} \times \left[\frac{1}{I_{sCa}} - \frac{1}{I_{sCb}} \right] \dots \dots \dots (2.9)$$

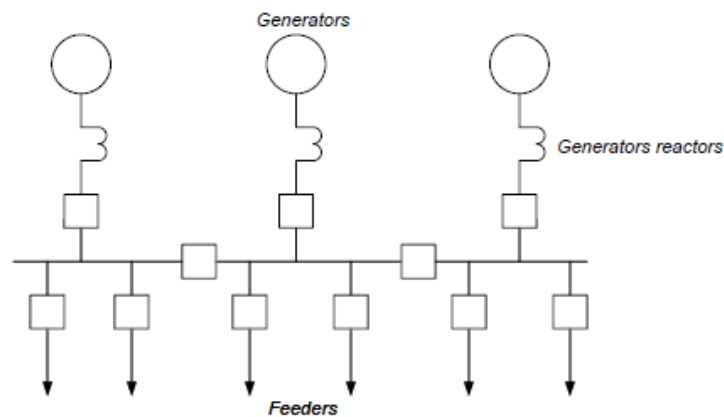
Keterangan:

- XR = Reaktansi reactor
- VS = Tegangan nominal line to line (Volt)
- C = Faktor tegangan
- IsCa = Arus hubung singkat setelah melewati reactor/Target (Ampere)
- IsCb = Arus hubung singkat sebelum melewati reactor/Awal (Ampere)

2.7 Penempatan Reaktor^[1]

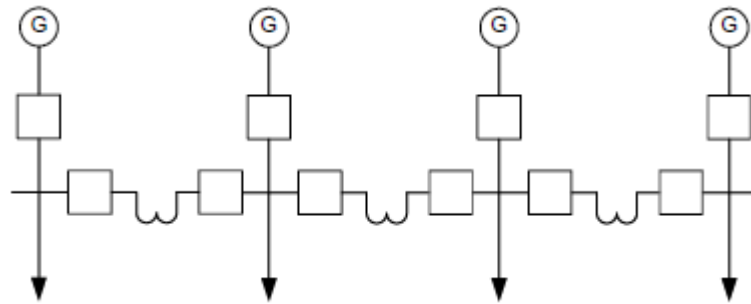
Berdasarkan penempatannya di dalam sistem, reaktor dapat diklasifikasikan menjadi tiga, yaitu: reaktor pembatas arus generator, reaktor pembatas arus busbar dan reaktor pembatas arus *feeder*.

- a. Reaktor pembatas arus generator, biasanya digunakan pada generator yang memiliki nilai reaktansi dan terhubung langsung dengan busbar. Hal ini bertujuan untuk memproteksi busbar dari arus gangguan yang mengalir dari generator. Pemasangan reaktor pembatas arus generator dapat dilihat pada gambar 2.10

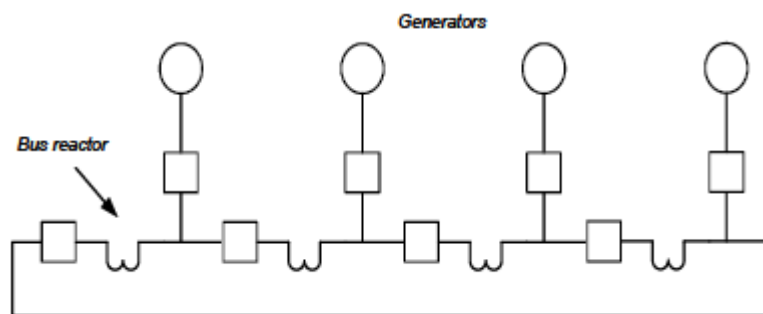


Gambar 2.15 Reaktor Generator

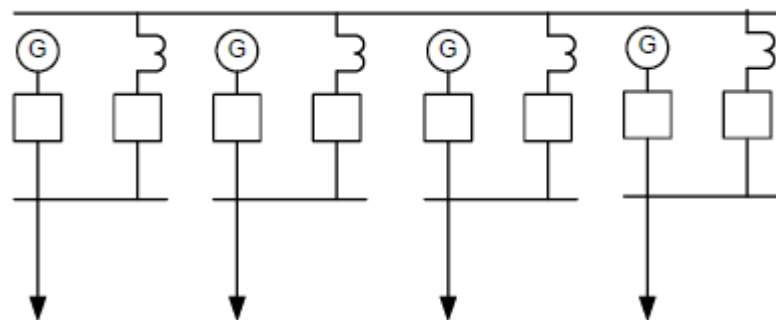
- b. Reaktor pembatas arus busbar digunakan apabila beberapa *feeder* dan sumber tenaga yang penting terkonsentrasi hanya pada satu bus, sehingga perlu untuk memisahkan bus agar gangguan tidak akan mengakibatkan pemadaman yang luas pada sistem tenaga. Ada tiga cara penempatan reaktor pembatas arus busbar yang banyak digunakan, yaitu:
 - (a) sistem *straight bus*,
 - (b) sistem *ring bus*, dan
 - (c) sistem *star bus*.



Gambar 2.16 Sistem *Straight bus*

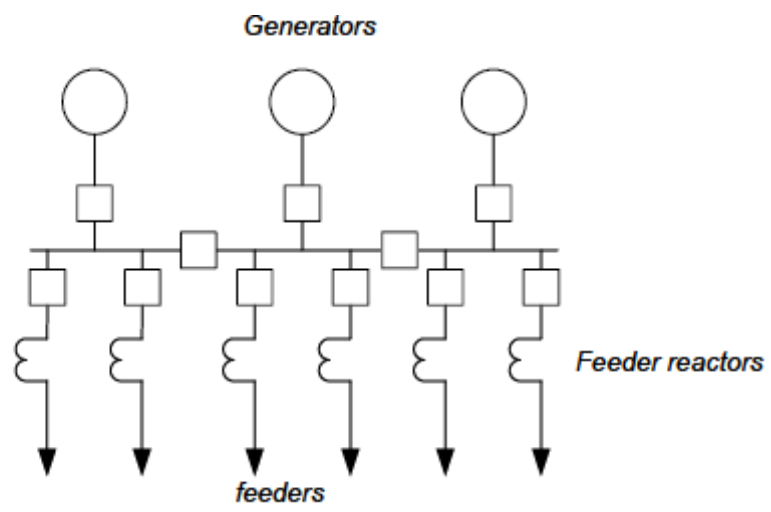


Gambar 2.17 Sistem *ring bus*



Gambar 2.18 Sistem *star bus*

- c. Reaktor pembatas arus *feeder* (penyulang) yang ditempatkan pada *outgoing feeder* bertujuan untuk membatasi besarnya arus hubung singkat yang terjadi. Hal ini memungkinkan untuk menggunakan PMT dengan kapasitas pemutusan yang rendah. Reaktor dapat dihubungkan secara seri dengan penyulang-penyulang seperti ditunjukkan pada gambar 2.14



Gambar 2.19 Reaktor penyulang

BAB III

METODELOGI PENELITIAN

3.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan metode survey yaitu mendatangi langsung lokasi penelitian instansi yakni seperti PT PLN APP Probolinggo untuk mengambil data. Data yang dikumpulkan merupakan data sekunder yang telah diarsip dan disediakan oleh masing-masing instansi dan siap diolah menjadi data penelitian.

3.2 Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan setelah proses pengambilan data. Pengolahan data dilakukan melalui beberapa tahap diantaranya pengelompokan dan pentabulasian data sesuai dengan urutan tahun dan kebutuhan analisis, selanjutnya melakukan analisis perhitungan data untuk simulasi dengan menggunakan software ETAP, dan yang terakhir adalah melakukan pembahasan terhadap data yang telah di olah.

3.3. *Software ETAP Power Station*

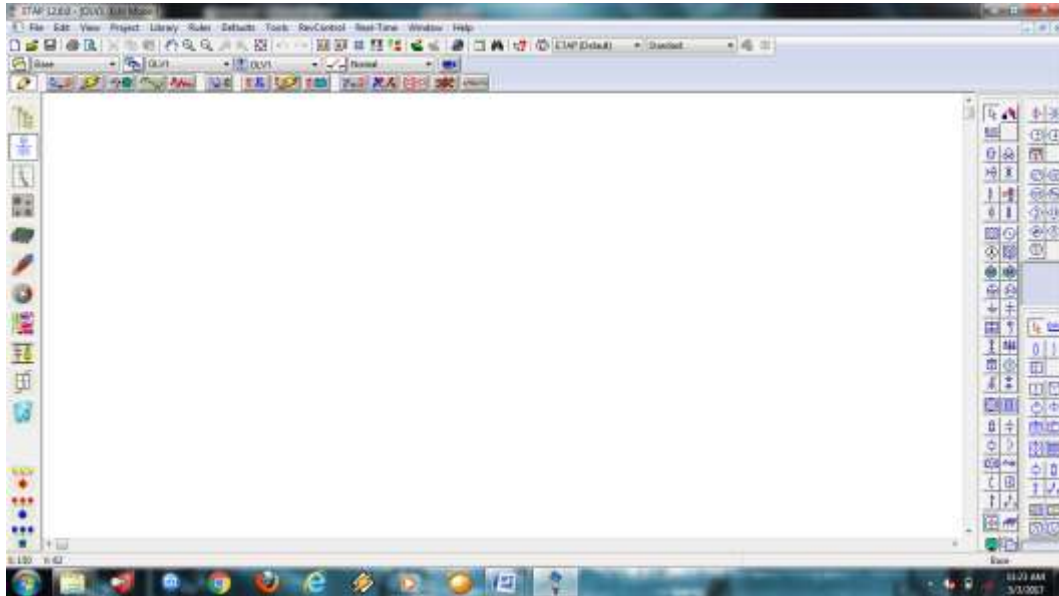
ETAP merupakan perangkat lunak yang berbasis pemodelan dan menganalisa secara singkat pada suatu tenaga listrik. Pemodelan sistem tenaga listrik menggunakan tampilan *single line diagram*. ETAP dapat digunakan untuk mensimulasikan sistem tenaga listrik secara *off line* dalam bentuk modul simulasi, monitoring data operasi secara *real time*, simulasi *system real time*, optimasi, manajemen energi sistem dan simulasi *intelligent load shedding*. ETAP didesain untuk dapat menangani berbagai kondisi dan topologi sistem tenaga listrik baik di sisi konsumen industri maupun untuk menganalisa performa sistem di sisi *utility*. *Software* ini dilengkapi dengan fasilitas untuk menunjang simulasi seperti jaringan AC dan DC (*AC and DC networks*), desain jaringan kabel (*cable raceways*), *grid* pentanahan (*ground grid*), *GIS*, desain panel, *arc-flash*, koordinasi peralatan proteksi (*protective device coordination/selectivity*), dan AC/ DC control sistem diagram.

ETAP *Power Station* juga menyediakan fasilitas *Library* yang akan mempermudah desain suatu sistem kelistrikan. *Library* ini dapat diedit atau dapat ditambahkan dengan informasi peralatan. Software ini bekerja berdasarkan plant (*project*). Setiap plant harus menyediakan modelling peralatan dan alat-alat pendukung yang berhubungan dengan analisis yang akan dilakukan. Misalnya generator, data beban, data saluran, dll. Sebuah plant terdiri dari sub-sistem kelistrikan yang membutuhkan sekumpulan komponen elektrik yang khusus dan saling berhubungan. Dalam *Power Station*, setiap *plant* harus menyediakan data *base* untuk keperluan itu.

ETAP *Power Station* dapat digunakan untuk menggambarkan *single line* diagram secara grafis dan mengadakan beberapa analisis/studi yakni *Load Flow* (aliran daya), *Short Circuit* (hubung singkat), motor *starting*, harmonisa, *transient stability*, *protective device coordination*, dan *Optimal Capacitor Placement*.

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam bekerja dengan *ETAP Power Station* adalah:

- ***One Line Diagram***, menunjukkan hubungan antar komponen/peralatan listrik sehingga membentuk suatu sistem kelistrikan.
- ***Library***, informasi mengenai semua peralatan yang akan dipakai dalam sistem kelistrikan. Data elektrik maupun mekanis dari peralatan yang detail/lengkap dapat mempermudah dan memperbaiki hasil simulasi/analisis.
- ***Standar yang dipakai***, biasanya mengacu pada standar *IEC* atau *ANSI*, frekuensi sistem dan metode – metode yang dipakai.
- ***Study Case***, berisikan parameter – parameter yang berhubungan dengan metode studi yang akan dilakukan dan format hasil analisis.
- Kelengkapan data dari setiap elemen/komponen/peralatan listrik pada sistem yang akan dianalisis akan sangat membantu hasil simulasi/analisis dapat mendekati keadaan operasional sebenarnya.



Gambar 3.1. Tampilan program *ETAP Power Station*

3.4 Short Circuit

Hubung singkat / short circuit adalah salah satu gangguan yg bisa terjadi di sistem tenaga listrik. Definisi hubung singkat menurut IEC 60909 adalah, hubungan konduksi sengaja atau tidak sengaja melalui hambatan atau impedansi yg cukup rendah antara dua atau lebih titik yg dalam keadaan normalnya mempunyai beda potensial. Hubung singkat dibagi menjadi 2 yaitu simetris dan asimetris. Simetris adalah gangguan hubung singkat 3-fasa, sedangkan asimetris adalah hubung singkat *line to line*, *line to ground*, dan *line to line to ground*.

3.5 Algoritma Penelitian

Algoritma pemecahan masalah pemasangan reaktor seri untuk membatasi arus gangguan hubung singkat yakni :

- Mulai
- Pengumpulan data

Pengumpulan data dilakukan pada PT. PLN APP Probolinggo. Data yang diperlukan dalam penelitian ini sebagai berikut :

Single line diagram merupakan gambar jaringan distribusi Gardu Induk Pandaan.

Data trafo yang diperlukan adalah daya trafo, rating tegangan, jenis pendingin trafo dan impedance.

Data saluran merupakan data panjang kabel dan jenis kabel.

Data beban yang terpasang pada semua penyulang di Gardu Induk Pandaan.

- Memodelkan *single line diagram*.

Dalam penelitian ini pemodelan dilakukan pada software ETAP.

- Input data

Data-data yang di input dalam pemodelan ini sebagai berikut :

Data trafo yang di input adalah data rating tegangan, rating daya, jenis pendingin, dan impedance.

Data saluran yang di input adalah jenis kabel, panjang kabel dan impedance kabel.

Data beban yang di input adalah berapa besar beban yang terpasang tiap penyulang pada Gardu Induk Pandaan

- Menjalankan simulasi *short circuit*.

Penelitian ini menggunakan Short Circuit 60909 yang dilakukan pada semua bus beban.

- Skenario gangguan

Gangguan hubung singkat yang di simulasikan pada tiap bus adalah gangguan hubung singkat 3-fasa, line to line to ground, line to line, line to ground.

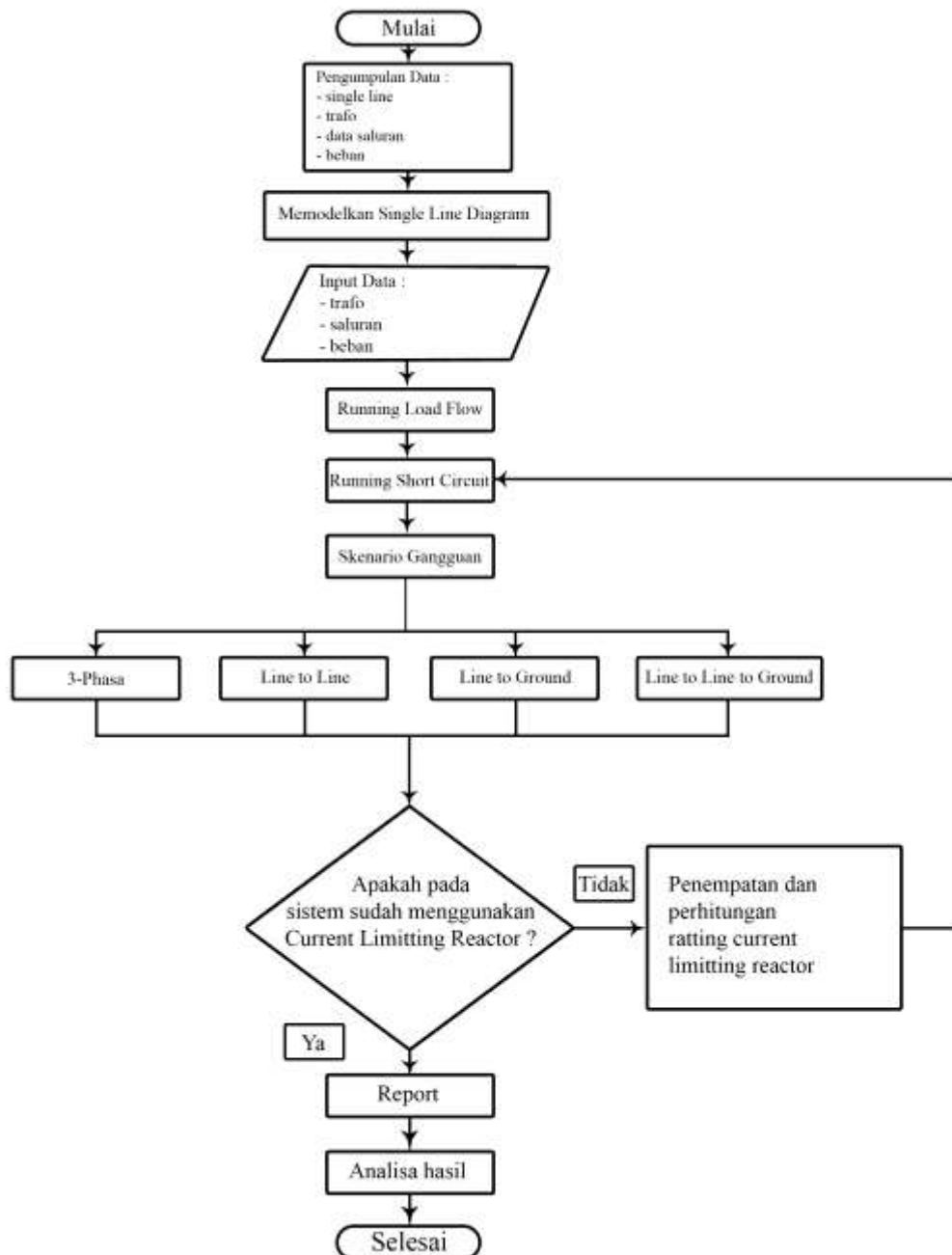
- Mengecek arus hubung singkat

Analisa hasil *short circuit* 6x In normal jika “Ya” lakukan analisa hasil, Jika “Tidak” Lakukan perhitungan rating *current limiting reactor* dan penempatan *current limiting reactor*. Setelah itu kembali di proses *short circuit analysis* untuk menganalisis keadaan sistem setelah dipasang *current limiting reactor*.

- Setelah proses simulasi *short circuit* selesai, kemudian cetak dan analisa hasil.
- Selesai.

3.6 Flowchart Penyelesaian Masalah

Dibawah ini adalah *flowchart* penyelesaian masalah yang terjadi pada sistem jaringan kelistrikan GarduIndukPandaan untuk membatasi arus gangguan hubung singkat.

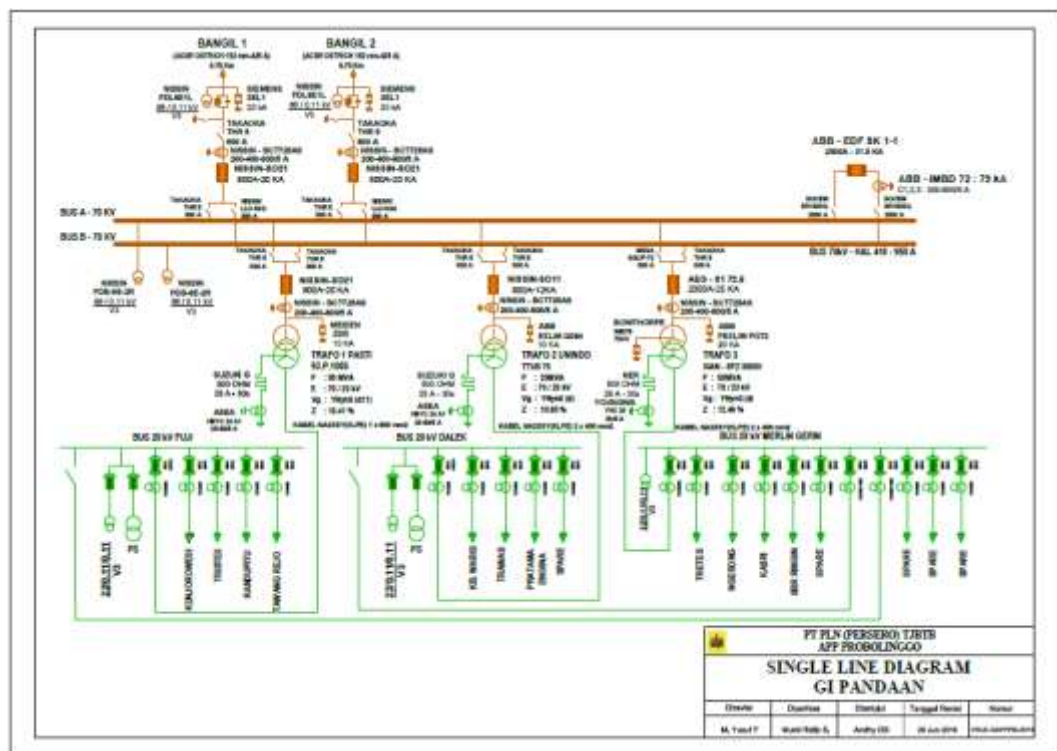


Gambar 3.2 *Flow chart* penelitian

BAB IV

SIMULASI DAN HASIL

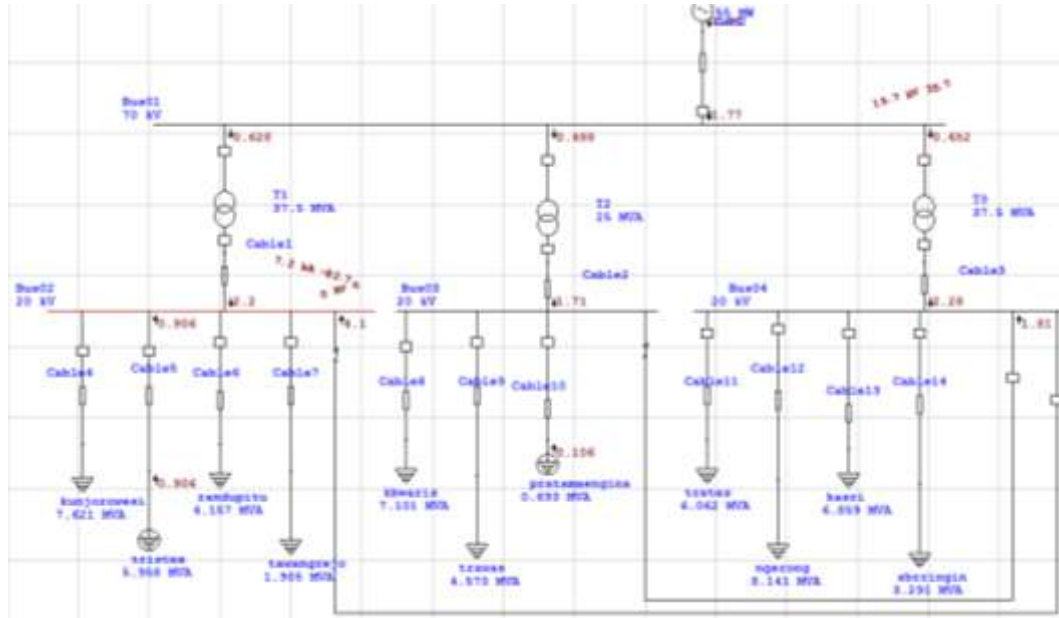
Analisis pada skripsi ini dilakukan pada Gardu Induk pandaan. Gardu Induk Pandaan memiliki 3 trafo. Trafo-1 berkapasitas 30 MVA dan trafo-1 terhubung ke beban sebesar 17,917 MVA. Trafo-2 berkapasitas 20 MVA dan trafo-2 terhubung ke beban sebesar 13,868 MVA. Trafo-3 berkapasitas 30 MVA dan trafo-3 terhubung ke beban sebesar 21.576 MVA. Analisis pada skripsi ini adalah Analisis arus gangguan hubung singkat menggunakan *software* ETAP. Karena gangguan hubung singkat bisa terjadi dimana saja maka skenario gangguan hubung singkat dilakukan pada semua bus beban dan gangguan disimulasikan dalam gangguan hubung singkat 3-fasa, *Line to Line*, *Line to Ground*, *Line to Line to Ground*.



Gambar 4.1 Single Line diagram gardu induk pandaan

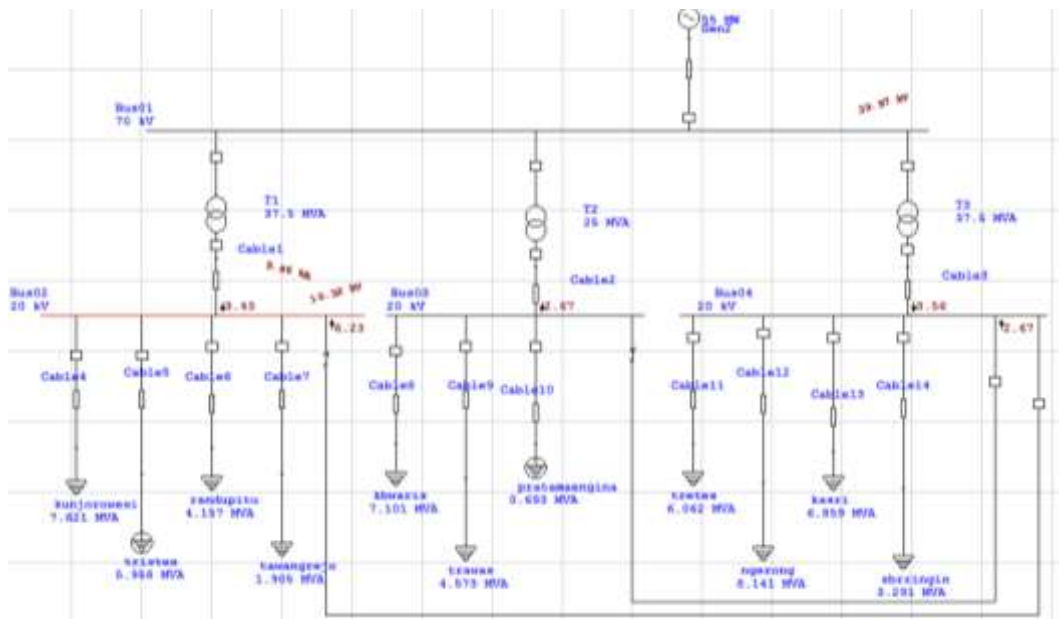
4.1 Analisis Arus Gangguan Hubung Singkat Sebelum Pemasangan *Current Limiting Reactor*

4.1.1 Simulasi *Short Circuit* pada bus-2



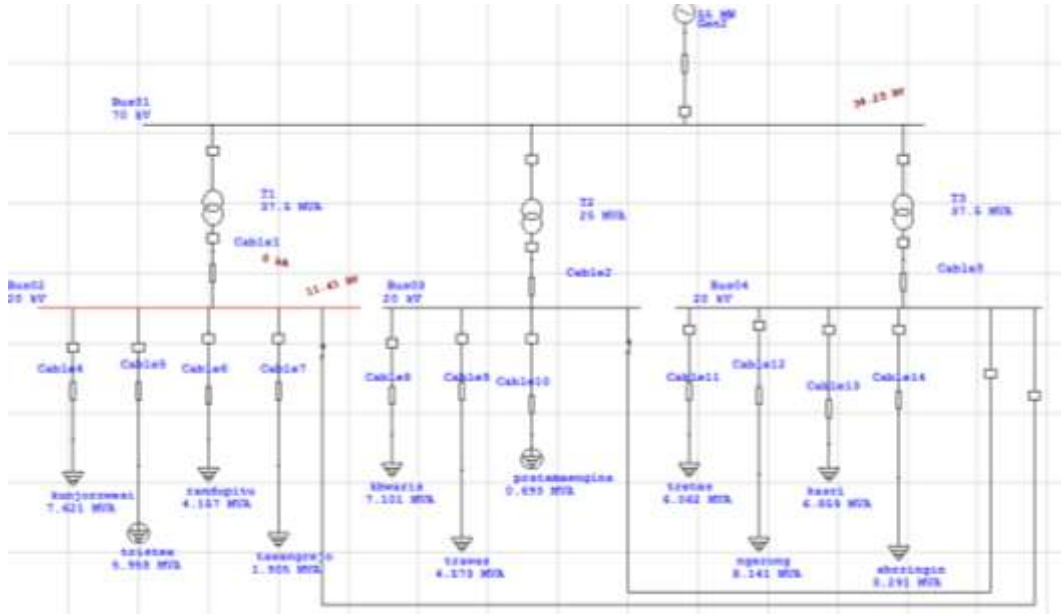
Gambar 4.2 Simulasi gangguan hubung singkat 3-fase bus-2

Hasil dari simulasi hubung singkat 3-fase pada bus-2 saat terjadi hubung singkat arusnya gangguanya 6188 A dalam keadaan normal arusnya sebesar 543 A. Kenaikan arusnya sekitar 11.3x arus normal.



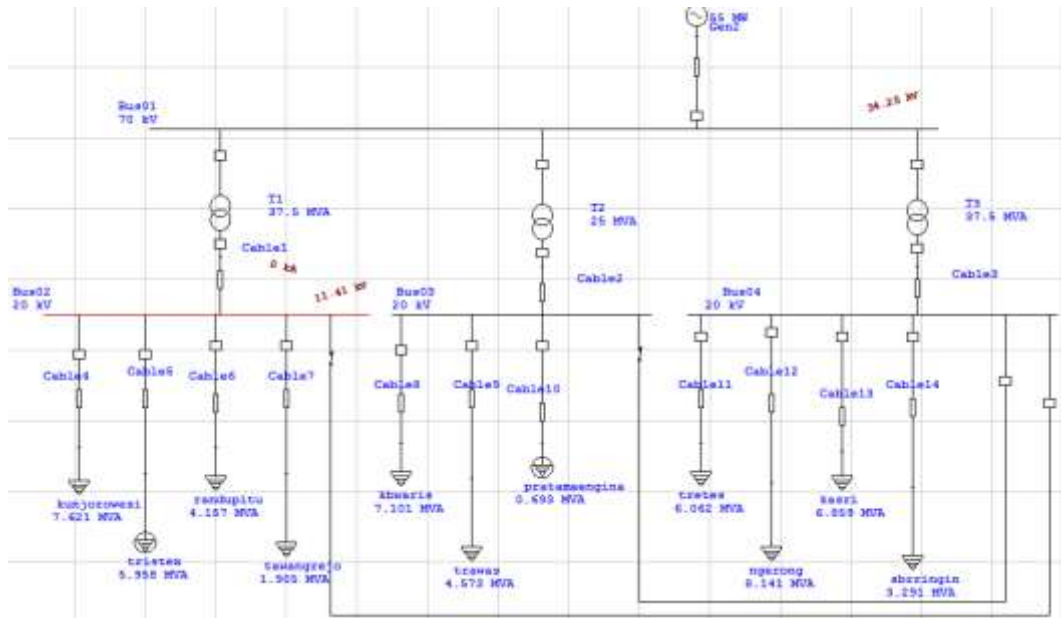
Gambar 4.3 Simulasi gangguan hubung singkat *Line to Ground* pada bus-2

Hasil dari simulasi hubung singkat *Line to Ground* pada bus-2 saat terjadi hubung singkat arusnya gangguanya menjadi 9661 A dalam keadaan normal arusnya sebesar 543 A. Kenaikan arusnya sekitar 17,7x arus normal.



Gambar 4.4 Simulasi gangguan hubung singkat *Line to Line* pada bus-2

Hasil dari simulasi hubung singkat *Line to Line to Ground* pada bus-2 saat terjadi hubung singkat arusnya gangguanya menjadi 6310 A.dalam keadaan normal arusnya sebesar 543 A. Kenaikan arusnya sekitar 11,6x arus normal.

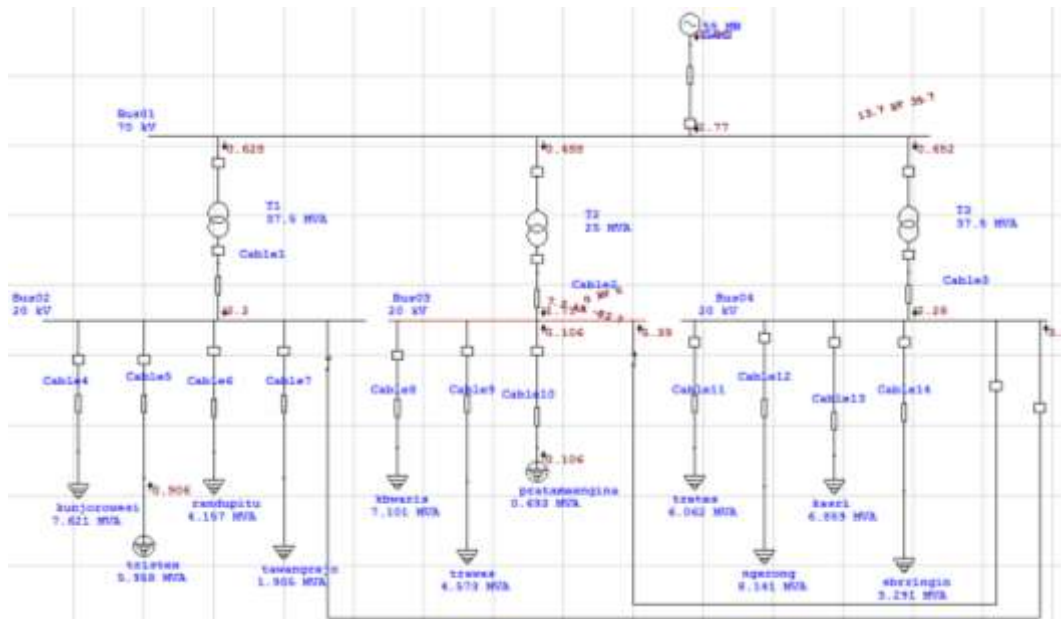


Gambar 4.5 Simulasi gangguan hubung singkat *Line to Line to Ground* pada bus-2

Hasil dari simulasi hubung singkat *Line to Line to Ground* pada bus-2 saat terjadi hubung singkat arusnya gangguanya menjadi 9655 A, dalam keadaan normal arusnya sebesar 543 A. Kenaikan arusnya sekitar 17,7x arus normal.

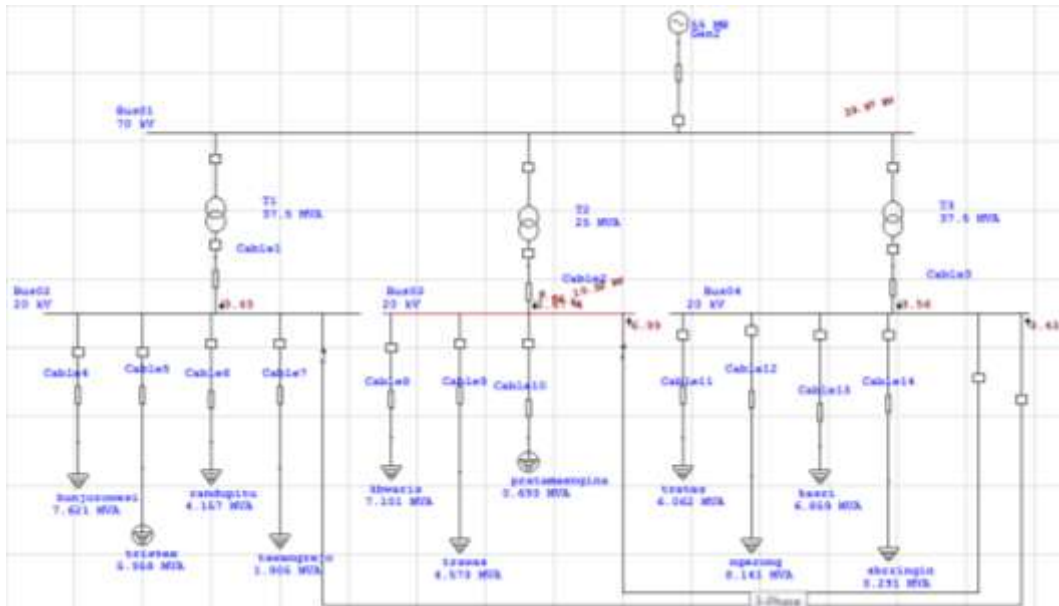
Hasil report menunjukkan bahwa arus hubung singkat tertinggi terjadi pada saat *Line to Ground*. Karena hasil report arus short circuit di atas 6x arus nominal maka pada bus ini akan di pasang *Current Limiting Reactor*.

4.1.2 Simulasi *Short Circuit* pada bus-3



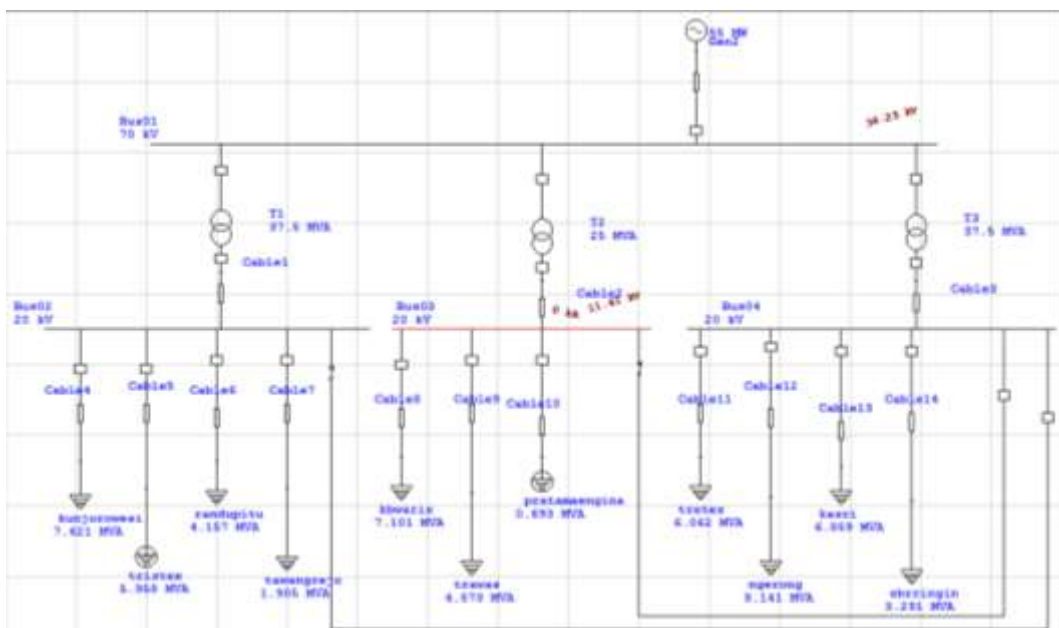
Gambar 4.6 Simulasi gangguan hubung singkat 3-fasa pada bus-3

Hasil dari simulasi hubung singkat 3-fasa saat terjadi hubung singkat arusnya gangguanya menjadi 6188 A, dalam keadaan normal arusnya sebesar 426.9 A. Kenaikan arusnya sekitar 14.4x arus normal.



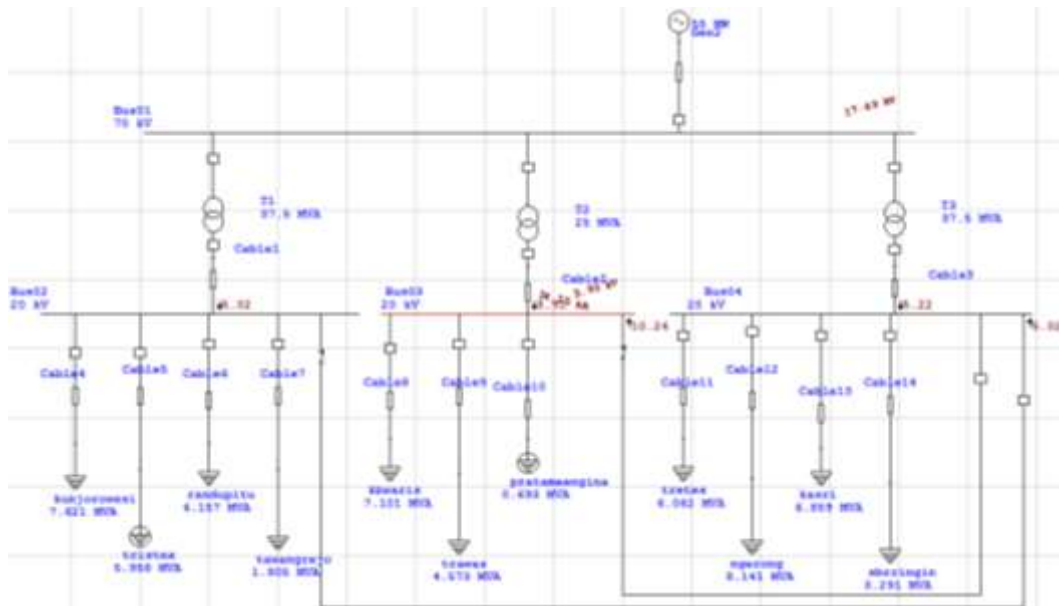
Gambar 4.7 Simulasi gangguan hubung singkat *Line to Ground* pada bus-3

Hasil dari simulasi hubung singkat *Line to Ground* pada bus-3 saat terjadi hubung singkat arusnya gangguanya menjadi 9661 A, dalam keadaan normal arusnya sebesar 426.9 A. Kenaikan arusnya sekitar 22.6x arus normal.



Gambar 4.8 Simulasi gangguan hubung singkat *Line to Line* pada bus-3

Hasil dari simulasi hubung singkat *Line to Line* pada bus-3 saat terjadi hubung singkat *Line to Line* arusnya gangguanya menjadi 6310 A, dalam keadaan normal arusnya sebesar 426.9 A. Kenaikan arusnya sekitar 14.7x arus normal.

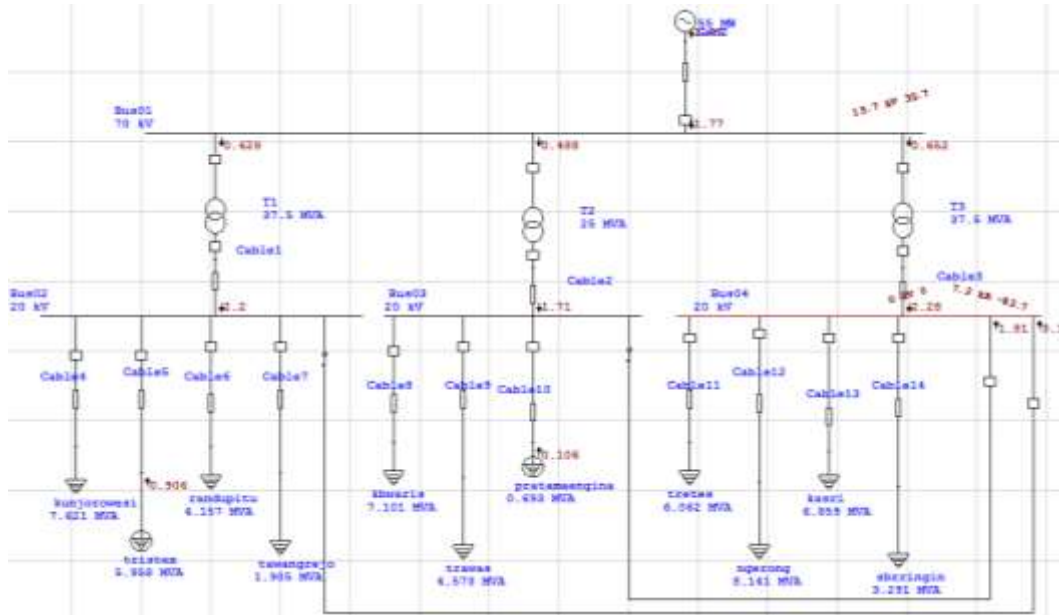


Gambar 4.9 Simulasi gangguan hubung singkat *Line to Line to Ground* pada bus-3

Hasil dari simulasi hubung singkat *Line to Line to Ground* pada saat terjadi hubung singkat arusnya gangguanya menjadi 9655 A, dalam keadaan normal arusnya sebesar 426.9 A. Kenaikan arusnya sekitar 22,6x arus normal.

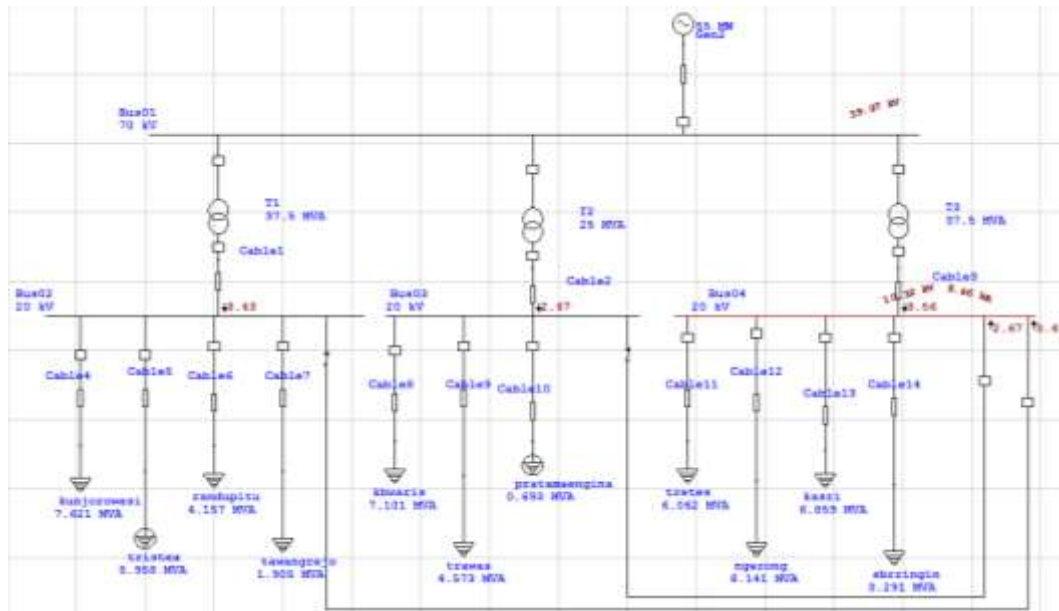
Hasil report menunjukkan bahwa arus hubung singkat tertinggi terjadi pada saat *Line to Ground*. Karena hasil report arus short circuit di atas 6x arus nominal maka pada bus ini akan di pasang *Current Limiting Reactor*.

4.1.3 Simulasi *Short Circuit* pada bus-4



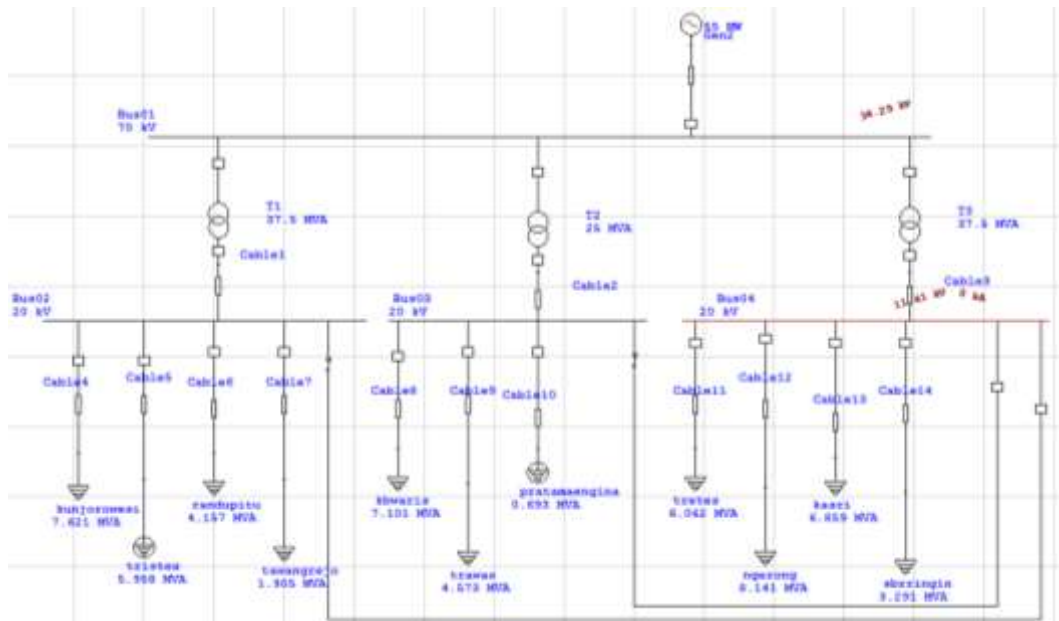
Gambar 4.10 Simulasi gangguan hubung singkat 3-fasa pada bus-4

Hasil dari simulasi hubung singkat 3-phase pada bus-4 saat terjadi hubung singkat arusnya gangguanya menjadi 6188 A, dalam keadaan normal arusnya sebesar 565.6 A. Kenaikan arusnya sekitar 10,9x arus normal.



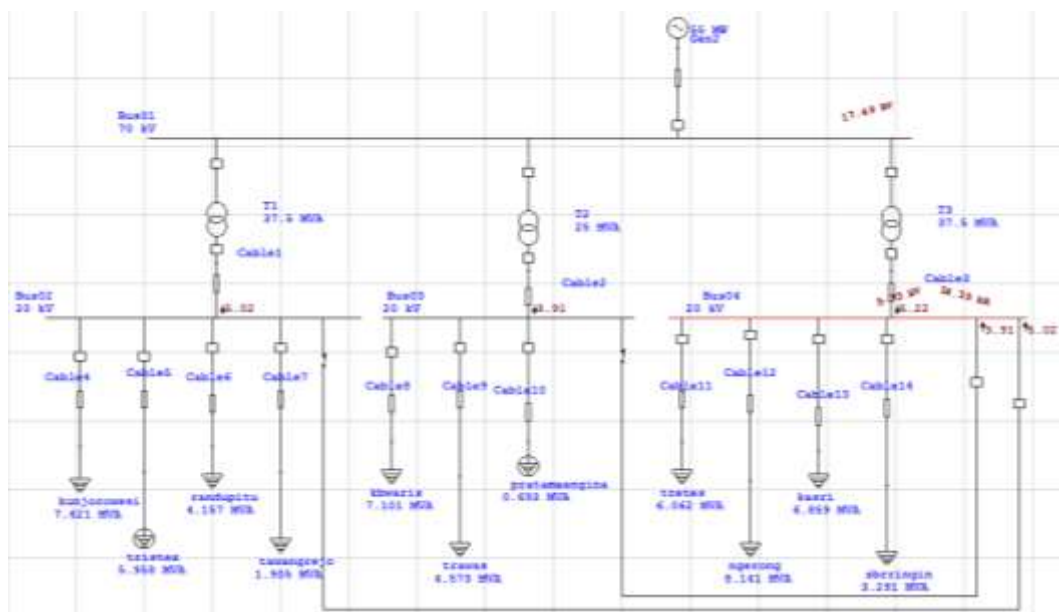
Gambar 4.11 Simulasi gangguan hubung singkat *Line to Ground* pada bus-4

Hasil dari simulasi hubung singkat *Line to Ground* pada bus-4 saat terjadi hubung singkat arusnya gangguanya menjadi 9661 A, dalam keadaan normal arusnya sebesar 565.6 A. Kenaikan arusnya sekitar 17x arus normal.



Gambar 4.12 Simulasi gangguan hubung singkat *Line to Line* pada bus-4

Hasil dari simulasi hubung singkat *Line to Line* pada bus-4 saat terjadi hubung singkat arusnya gangguanya menjadi 6310 A, dalam keadaan normal arusnya sebesar 565.6 A. Kenaikan arusnya sekitar 11.1x arus normal.



Gambar 4.13 Simulasi gangguan hubung singkat *Line to Line to Ground* pada bus-4

Hasil dari simulasi hubung singkat *Line to Line to Ground* pada bus-3 saat terjadi hubung singkat arusnya gangguanya menjadi 9655 A, dalam keadaan normal arusnya sebesar 565.6 A. Kenaikan arusnya sekitar 17x arus normal.

Hasil report menunjukkan bahwa arus hubung singkat tertinggi terjadi pada saat *Line to Ground*. Karena hasil report arus short circuit di atas 6x arus nominal maka pada bus ini akan di pasang *Current Limiting Reactor*.

Tabel 4.1 Data arus sebelum dan sesudah terjadi gangguan hubung singkat

No	Gangguan Bus	Jenis gangguan	Arus (A)	
			I _{normal}	I _{sc}
1	Bus-2	3-Phasa	543	6.188
2		LG		9.661
3		LL		6.310
4		LLG		9.655
5	Bus-3	3-Phasa	426.9	6.188
6		LG		9.661
7		LL		6.310
8		LLG		9.655
9	Bus-4	3-Phasa	565.6	6.188
10		LG		9.661
11		LL		6.310
12		LLG		9.655

Keterangan :

LG : *Line to Ground*
 LL : *Line to Line*
 LLG : *Line to Lineto Ground*

4.2 Perhitungan Rating *Current Limiting Reactor*

Perhitungan arus hubung singkat menggunakan standar IEC 60909 dimana terdapat factor tegangan, maka persamaannya menjadi:

$$XR = c \times vs \times \sqrt{3} \times \left[\frac{1}{IsCa} - \frac{1}{IsCb} \right]$$

Keterangan:

XR = Reaktansi reactor
 VS = Tegangan nominal line to line (Volt)
 c = Faktor tegangan
 IsCa = Arus hubung singkat setelah melewati reactor/Target (Ampere)
 IsCb = Arus hubung singkat sebelum melewati reactor/Awal (Ampere)

4.2.1 Perhitungan rating *Current Limiting Reactor* pada bus-2

Hasil simulasi pada bus2 menunjukkan bahwa arus hubung singkat yang paling tinggi terjadi pada saat gangguan *Line to Ground* yaitu sebesar 9655A, sedangkan arus nominal yang mengalir pada bus-2 sebesar 543 A, maka didapat $I_{sCa} = 543$ A dan $I_{sCb} = 9661$ A.

$$XR = c \times v_s \times \sqrt{3} \times \left[\frac{1}{I_{sCa}} - \frac{1}{I_{sCb}} \right]$$

$$XR = 1 \times 20.000 \times \sqrt{3} \times \left[\frac{1}{543} - \frac{1}{9661} \right]$$

$$XR = 60.14 \text{ ohm}$$

Berdasarkan perhitungan di atas maka rating CLR pada bus-2 sebesar 60.14 ohm.

4.2.2 Perhitungan rating *Current Limiting Reactor* pada bus-3

Hasil simulasi pada bus-3 menunjukkan bahwa arus hubung singkat yang paling tinggi terjadi pada saat gangguan *Line to Ground* yaitu sebesar 9655A, sedangkan arus nominal yang mengalir pada bus-3 sebesar 426.9 A, maka didapat $I_{sCa} = 426.9$ A dan $I_{sCb} = 9661$ A

$$XR = c \times v_s \times \sqrt{3} \times \left[\frac{1}{I_{sCa}} - \frac{1}{I_{sCb}} \right]$$

$$XR = 1 \times 20.000 \times \sqrt{3} \times \left[\frac{1}{426.9} - \frac{1}{9661} \right]$$

$$XR = 77.47 \text{ ohm}$$

Berdasarkan perhitungan di atas maka rating CLR pada bus-3 sebesar 77.4 ohm.

4.2.3 Perhitungan rating *Current Limiting Reactor* pada bus-4

Hasil simulasi pada bus-4 menunjukkan bahwa arus hubung singkat yang paling tinggi terjadi pada saat gangguan *Line to Ground* yaitu sebesar 9655A, sedangkan arus nominal yang mengalir pada bus-4 sebesar 565.6 A, maka didapat $I_{sCa} = 565.6$ A dan $I_{sCb} = 9661$ A

$$XR = c \times v_s \times \sqrt{3} \times \left[\frac{1}{I_s C a} - \frac{1}{I_s C b} \right]$$

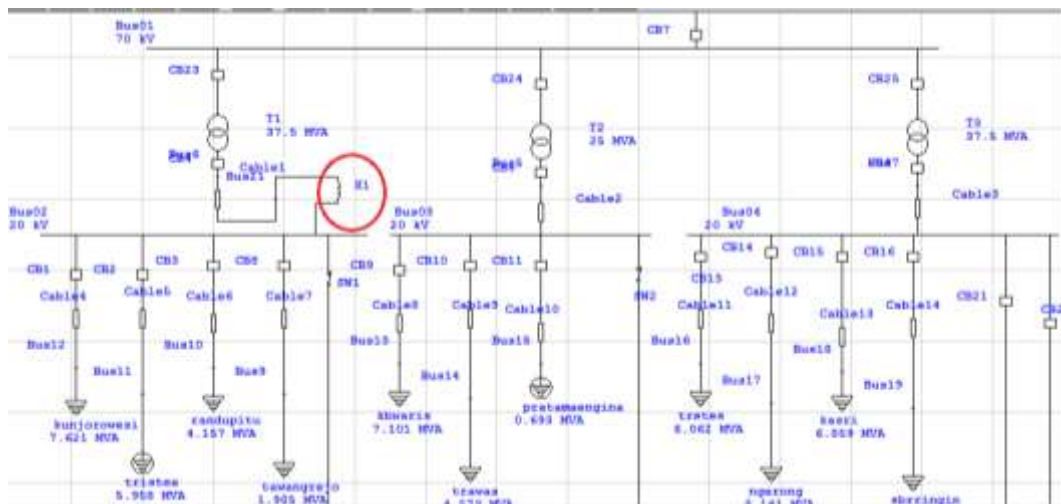
$$XR = 1 \times 20.000 \times \sqrt{3} \times \left[\frac{1}{565,6} - \frac{1}{9661} \right]$$

$$XR = 57.59 \text{ ohm}$$

Berdasarkan perhitungan di atas maka rating CLR pada bus-4 sebesar 57.59 ohm.

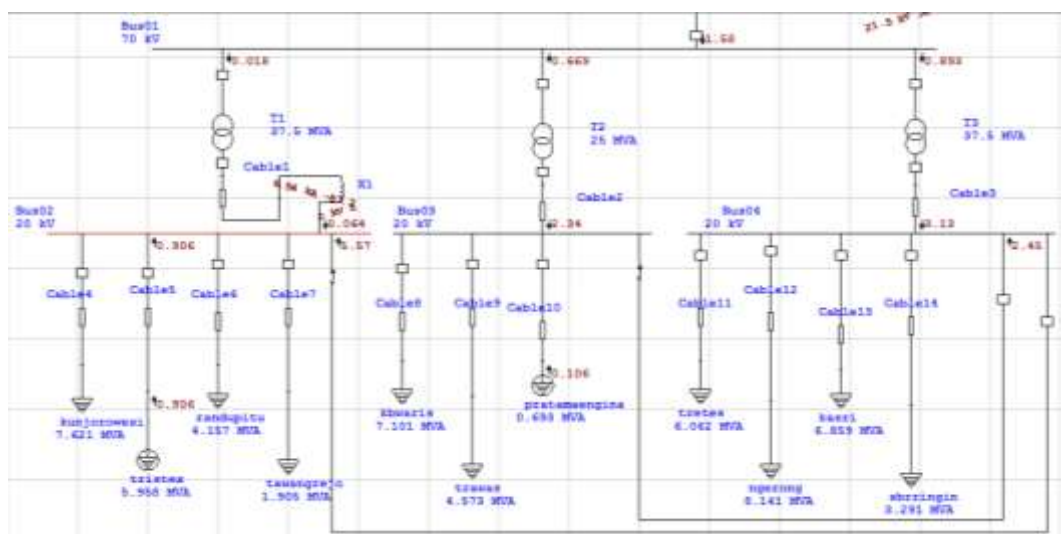
4.3 Pemasangan *Current Limiting Reactor*

4.3.1 Pemasangan *Current Limiting Reactor* pada bus-2



Gambar 4.14 CLR di pasang pada bus-2

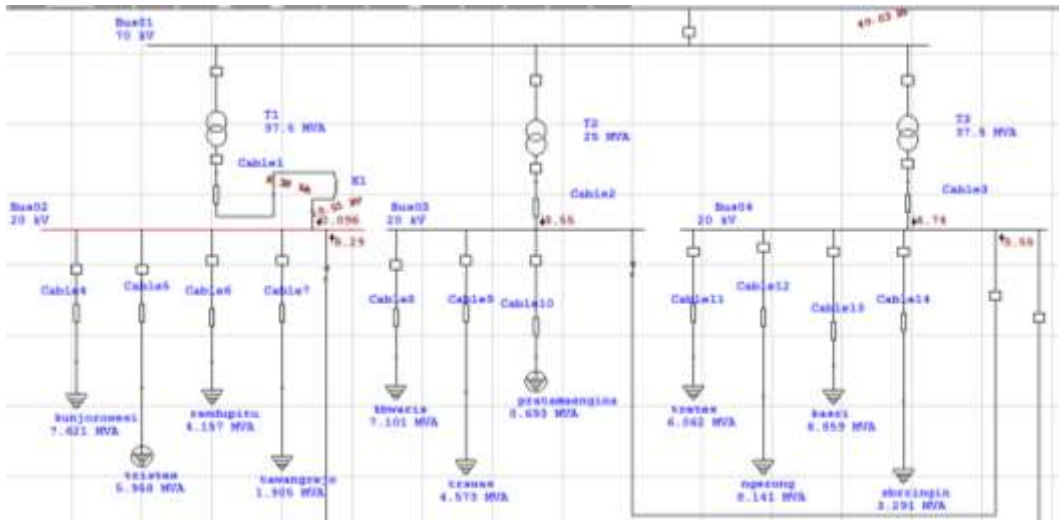
CLR pada bus-2 dipasang dengan rating sebesar 60.14.



Gambar 4.15 Simulasi gangguan hubung singkat 3-fase pada bus-2 setelah di

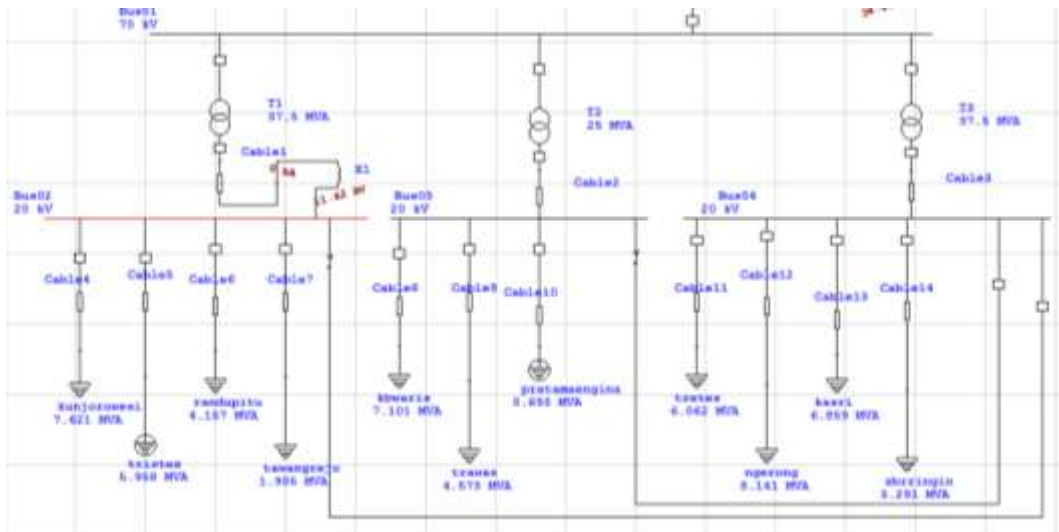
pasang CLR

Setelah pemasangan *Current Limiting Reactor* gangguan hubung singkat 3-fase pada bus-2 dapat di reduksi. Sebelum pemasangan *Current Limiting Reactor* $I_{sc}=6188$ A. Setelah pemasangan menjadi $I_{sc}=5530$ A, jadi arus hubung singkat dapat di reduksi 10.6%.



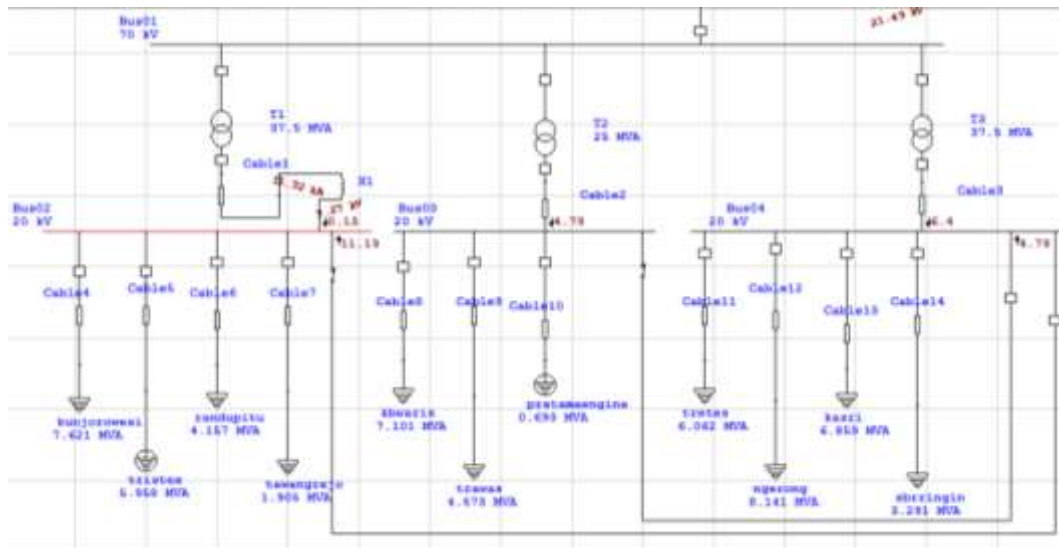
Gambar 4.16 Simulasi gangguan hubung singkat *Line to Ground* pada bus-2 setelah di pasang CLR

Setelah pemasangan *Current Limiting Reactor* gangguan hubung singkat *Line to Ground* pada bus-2 dapat di reduksi. Sebelum pemasangan *Current Limiting Reactor* $I_{sc}=9661$ A. Setelah pemasangan menjadi $I_{sc}=8383$ A, jadi arus hubung singkat dapat di reduksi 13.2%.



Gambar 4.17 Simulasi gangguan hubung singkat *Line to Line* pada bus-2 setelah di pasang CLR

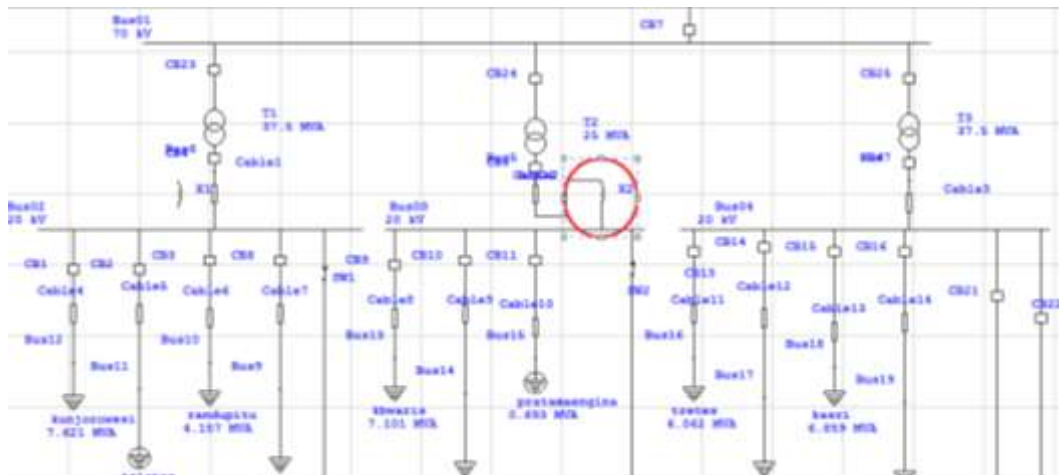
Setelah pemasangan *Current Limiting Reactor* gangguan hubung singkat *Line to Line* pada bus-2 dapat di reduksi. Sebelum pemasangan *Current Limiting Reactor* $I_{sc}=6310$ A. Setelah pemasangan menjadi $I_{sc}=5726$ A, jadi arus hubung singkat dapat di reduksi 9.3%.



Gambar 4.18 Simulasi gangguan hubung singkat *Line to Line to Ground* pada bus-2 setelah di pasang CLR

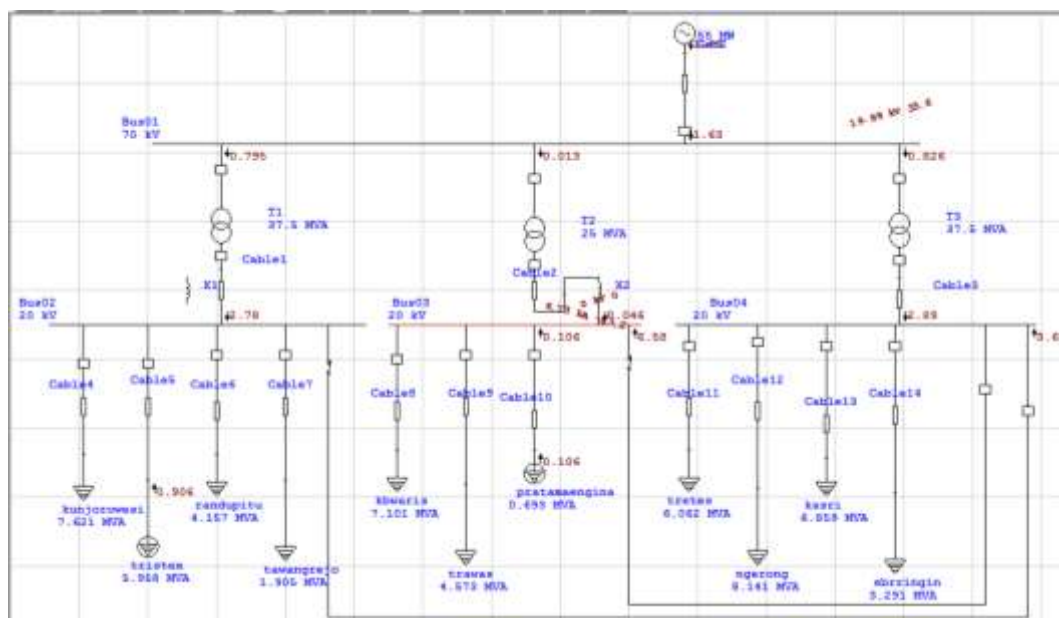
Setelah pemasangan *Current Limiting Reactor* gangguan hubung singkat *Line to Line to Ground* pada bus-2 dapat di reduksi. Sebelum pemasangan *Current Limiting Reactor* $I_{sc}=9655$ A. Setelah pemasangan menjadi $I_{sc}=8216$ A, jadi arus hubung singkat dapat di reduksi 14.9%.

4.3.2 Pemasangan *Current Limiting Reactor* pada bus-3



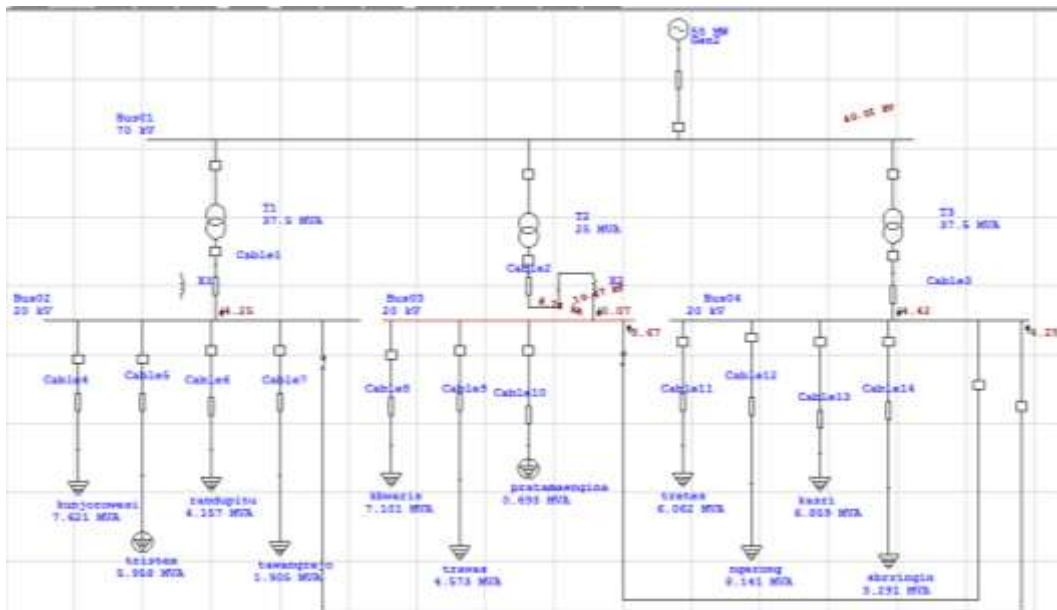
Gambar 4.19 CLR di pasang pada bus-3

CLR pada bus-3 dipasang dengan rating sebesar 77.47



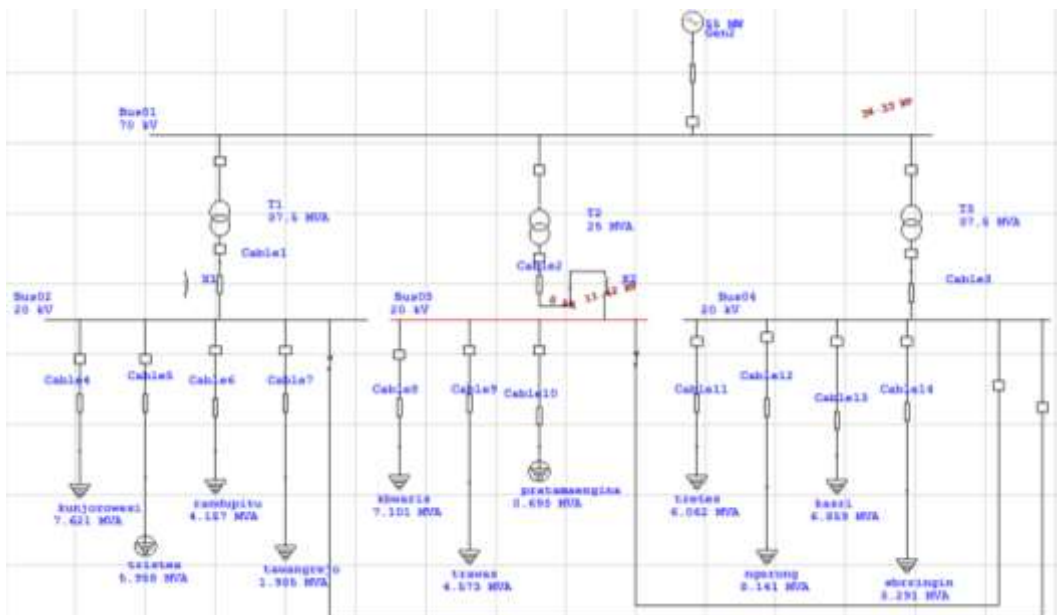
Gambar 4.20 Simulasi gangguan hubung singkat 3-fase pada bus-3 setelah di pasang CLR

Setelah pemasangan *Current Limiting Reactor* gangguan hubung singkat 3-fase pada bus-3 dapat di reduksi. Sebelum pemasangan *Current Limiting Reactor* $I_{sc}=6188$ A. Setelah pemasangan menjadi $I_{sc}=5717$ A, jadi arus hubung singkat dapat di reduksi 7.6%.



Gambar 4.21 Simulasi gangguan hubung singkat *Line to Ground* pada bus-3 setelah di pasang CLR

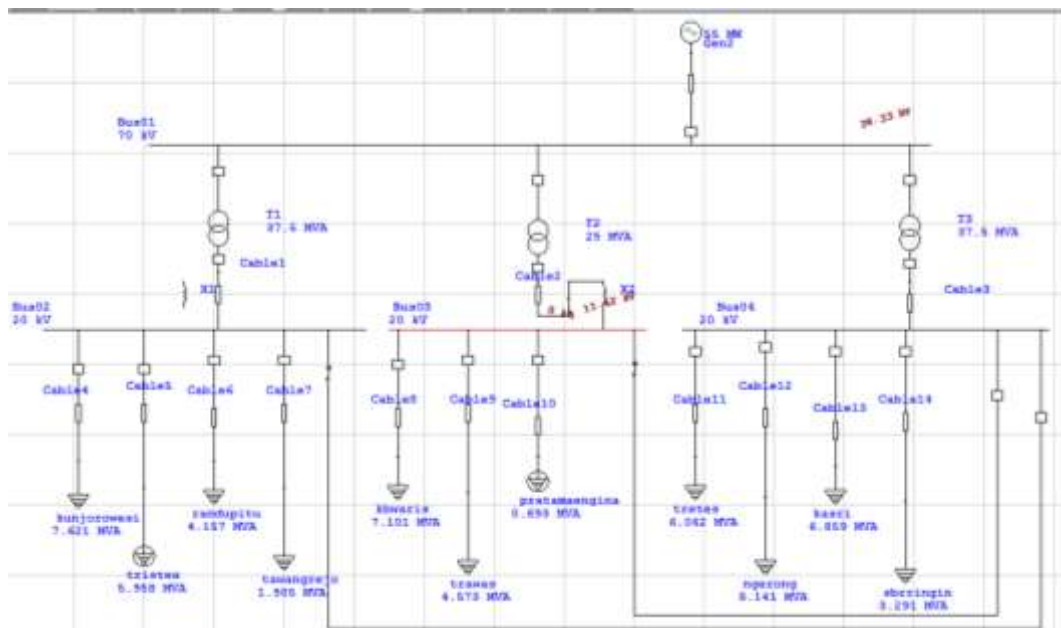
Setelah pemasangan *Current Limiting Reactor* gangguan hubung singkat *Line to Ground* pada bus-3 dapat di reduksi. Sebelum pemasangan *Current Limiting Reactor* $I_{sc}=9661$ A. Setelah pemasangan menjadi $I_{sc}=8736$ A, jadi arus hubung singkat dapat di reduksi 9.6%.



Gambar 4.22 Simulasi gangguan hubung singkat *Line to Line* pada bus-3 setelah di pasang CLR

Setelah pemasangan *Current Limiting Reactor* gangguan hubung singkat *Line to Line* pada bus-3 dapat di reduksi. Sebelum pemasangan *Current Limiting*

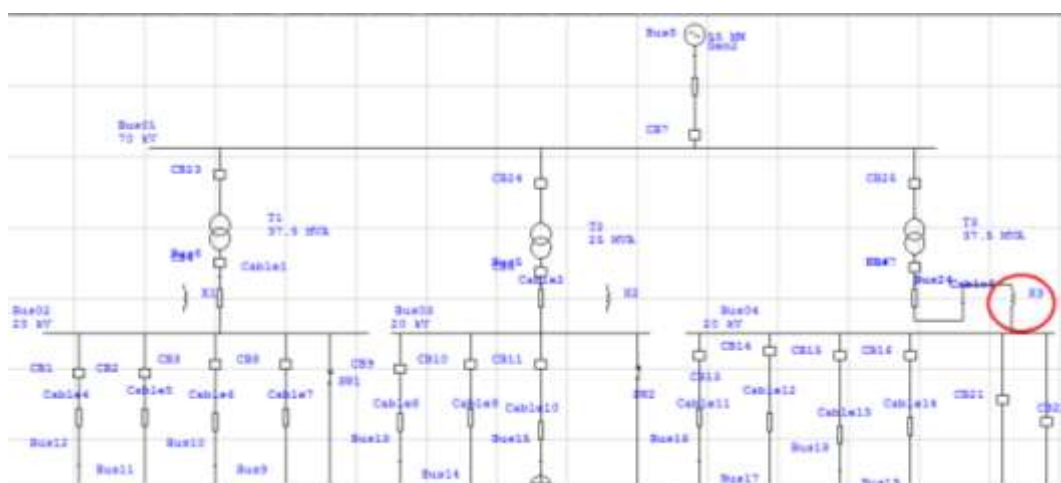
Reactor $I_{sc}=6310$ A. Setelah pemasangan menjadi $I_{sc}=5892$ A, jadi arus hubung singkat dapat di reduksi 6.6%.



Gambar 4.23 Simulasi gangguan hubung singkat *Line to Line to Ground* pada bus-3 setelah di pasang CLR

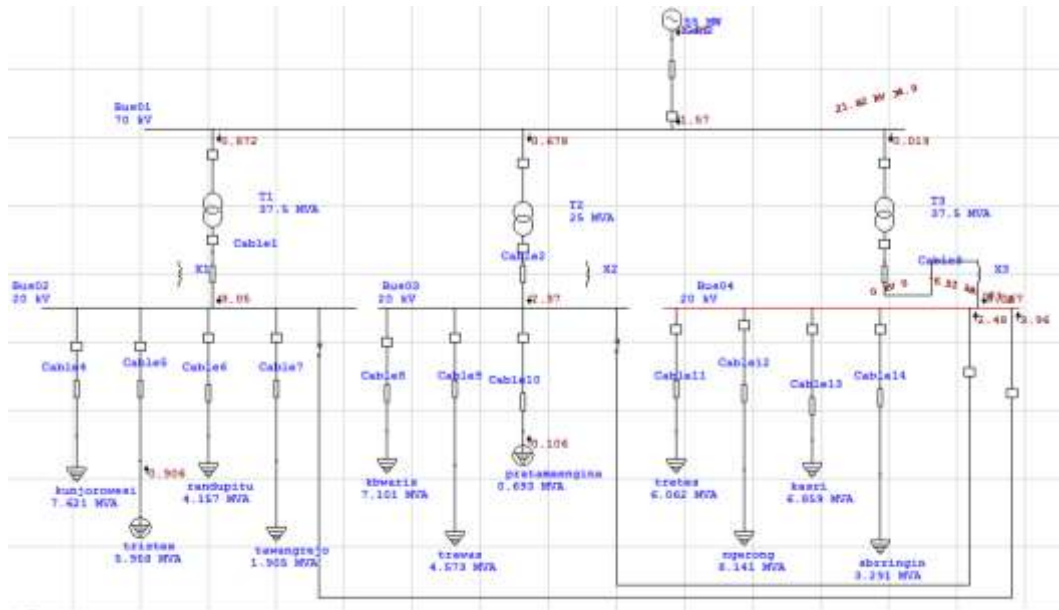
Setelah pemasangan *Current Limiting Reactor* gangguan hubung singkat *Line to Line to Ground* pada bus-3 dapat di reduksi. Sebelum pemasangan *Current Limiting Reactor* $I_{sc}=9655$ A. Setelah pemasangan menjadi $I_{sc}=8612$ A, jadi arus hubung singkat dapat di reduksi 10.8%.

4.3.3 Pemasangan *Current Limiting Reactor* pada bus-4



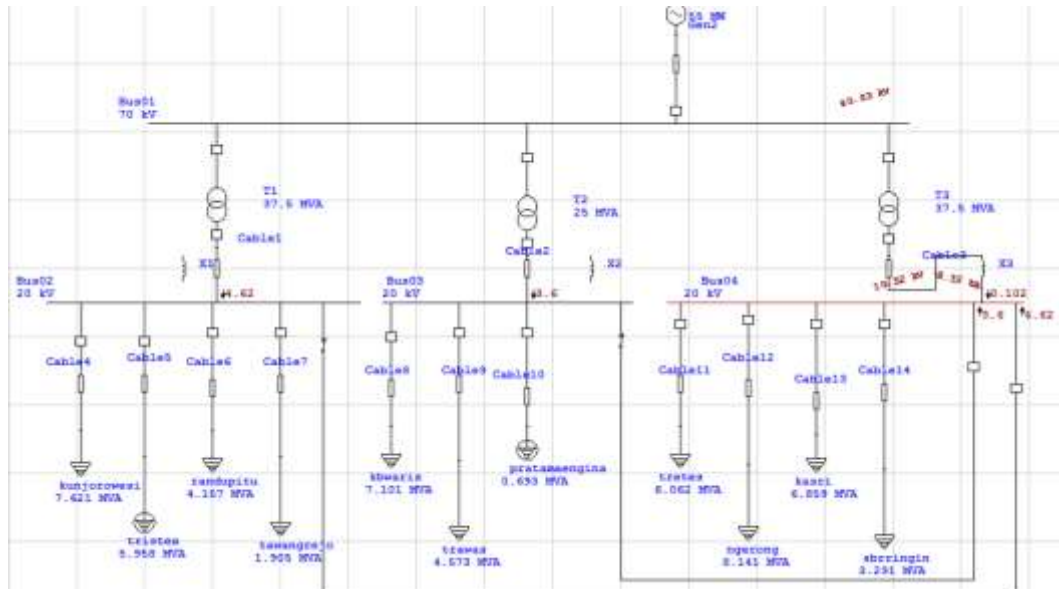
Gambar 4.24 CLR di pasang pada bus-4

CLR pada bus-4 dipasang dengan rating sebesar 57.59.



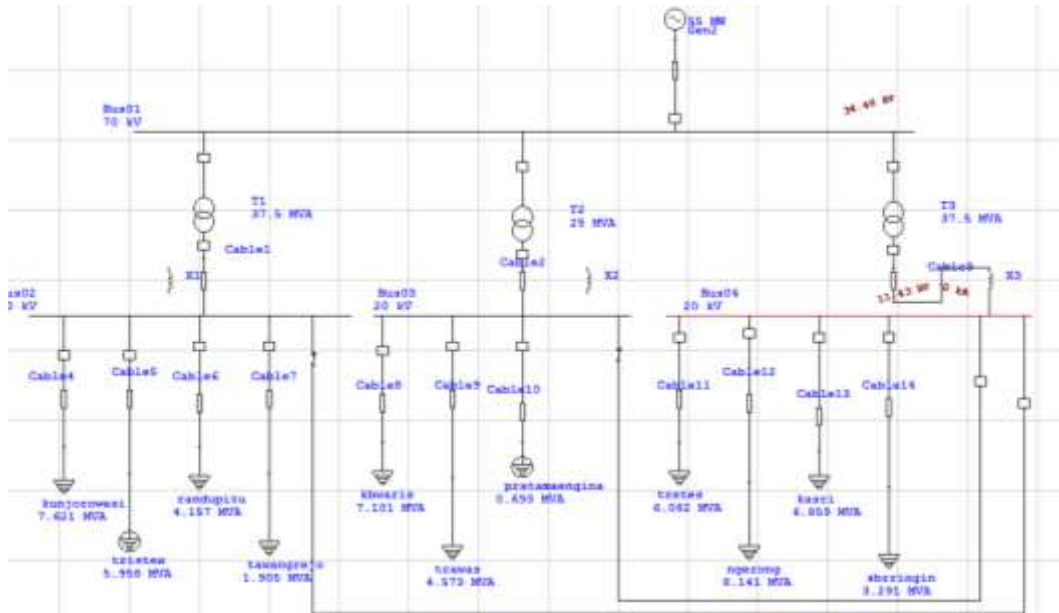
Gambar 4.25 Simulasi gangguan hubung singkat 3-phase pada bus 04 setelah di pasang CLR

Setelah pemasangan *Current Limiting Reactor* gangguan hubung singkat 3-phase pada bus 04 dapat di reduksi. Sebelum pemasangan *Current Limiting Reactor* $I_{sc}=6188$ A. Setelah pemasangan menjadi $I_{sc}=5495$ A, jadi arus hubung singkat dapat di reduksi 11.2%.



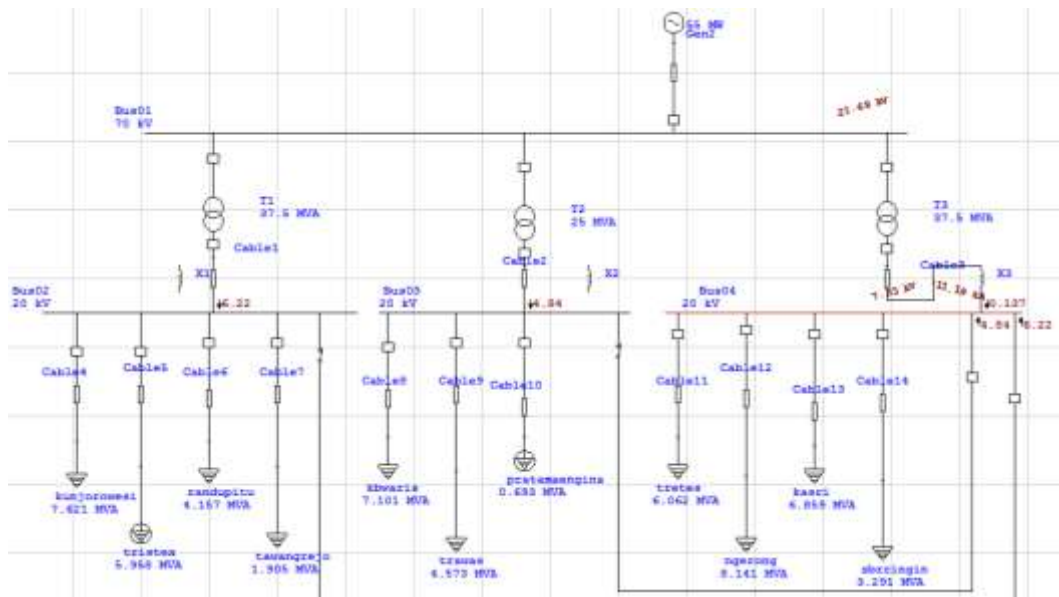
Gambar 4.26 Simulasi gangguan hubung singkat *Line to Ground* pada bus 04 setelah di pasang CLR

Setelah pemasangan *Current Limiting Reactor* gangguan hubung singkat *Line to Ground* pada bus 04 dapat di reduksi. Sebelum pemasangan *Current Limiting Reactor* $I_{sc}=9661$ A. Setelah pemasangan menjadi $I_{sc}=8317$ A, jadi arus hubung singkat dapat di reduksi 13.9%.



Gambar 4.27 Simulasi gangguan hubung singkat *Line to Line* pada bus-4 setelah di pasang CLR

Setelah pemasangan *Current Limiting Reactor* gangguan hubung singkat *Line to Line* pada bus 04 dapat di reduksi. Sebelum pemasangan *Current Limiting Reactor* $I_{sc}=6310$ A. Setelah pemasangan menjadi $I_{sc}=5694$ A, jadi arus hubung singkat dapat di reduksi 9.8%.



Gambar 4.28 Simulasi gangguan hubung singkat *Line to Line to Ground* pada bus-4 setelah di pasang CLR

Setelah pemasangan *Current Limiting Reactor* gangguan hubung singkat *Line to Line to Ground* pada bus 04 dapat di reduksi. Sebelum pemasangan *Current Limiting Reactor* $I_{sc}=9655$ A. Setelah pemasangan menjadi $I_{sc}=8145$ A, jadi arus hubung singkat dapat di reduksi 15.6%.

4.4 Perbandingan Arus Hubung Singkat.

Tabel 4.2 Perbandingan arus hubung singkat sebelum pemasangan CLR dan setelah pemasangan CLR

No	Gangguan pada bus	Jenis gangguan	Rating CLR (ohm)	Arus hubung singkat		Pengurangan arus hubung singkat (%)
				Sebelum pemasangan CLR (A)	Setelah pemasangan CLR (A)	
1	Bus 02	3-Phasa	60.14	6.188	5.530	10.6
2		LG		9.661	8.383	13.2
3		LL		6.310	5.726	9.3
4		LLG		9.655	8.216	14.9
5	Bus 03	3-Phasa	77.47	6.188	5.717	7.6
6		LG		9.661	8.736	9.6
7		LL		6.310	5.892	6.6
8		LLG		9.655	8.612	10.8
9	Bus 04	3-Phasa	57.59	6.188	5.495	11.2
10		LG		9.661	8.317	13.9

11		LL		6.310	5.694	9.8
12		LLG		9.655	8.145	15.6

Keterangan :

- LG : *Line to Ground*
LL : *Line to Line*
LLG : *Line to Lineto Ground*

Dapat dilihat pada Tabel 4.2 setelah pemasangan CLR arus gangguan dapat direduksi antara 6.6%-15.6%.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

- Arusgangguanbisadireduksidenganmelakukanpemasangan*Current Limiting Reactor*.
- Pemasangan*Current Limiting Reactor*di bus-bus yang mengalami gangguan hubung singkat.
- Besarnya rating *Current Limiting Reactor* disetiap bus (20 kv) yaitu, 60,14 ohm di bus-2, 77,47 ohm di bus-3, 57,59 ohm di bus-4.
- Arusgangguan*Line to ground*pada bus-2 sebelum pemasangan *Current Limiting Reactor* 9.661 A sesudah pemasangan *Current Limiting Reactor* menjadi 8.383 A. Arusgangguan *Line to ground* pada bus-3 sebelum pemasangan *Current Limiting Reactor* 9.661 A sesudah pemasangan *Current Limiting Reactor* menjadi 8.736 A. Arusgangguan *Line to ground* pada bus-4 sebelum pemasangan *Current Limiting Reactor* 9.661 A sesudah pemasangan *Current Limiting Reactor* menjadi 8.713 A.

5.2 Saran

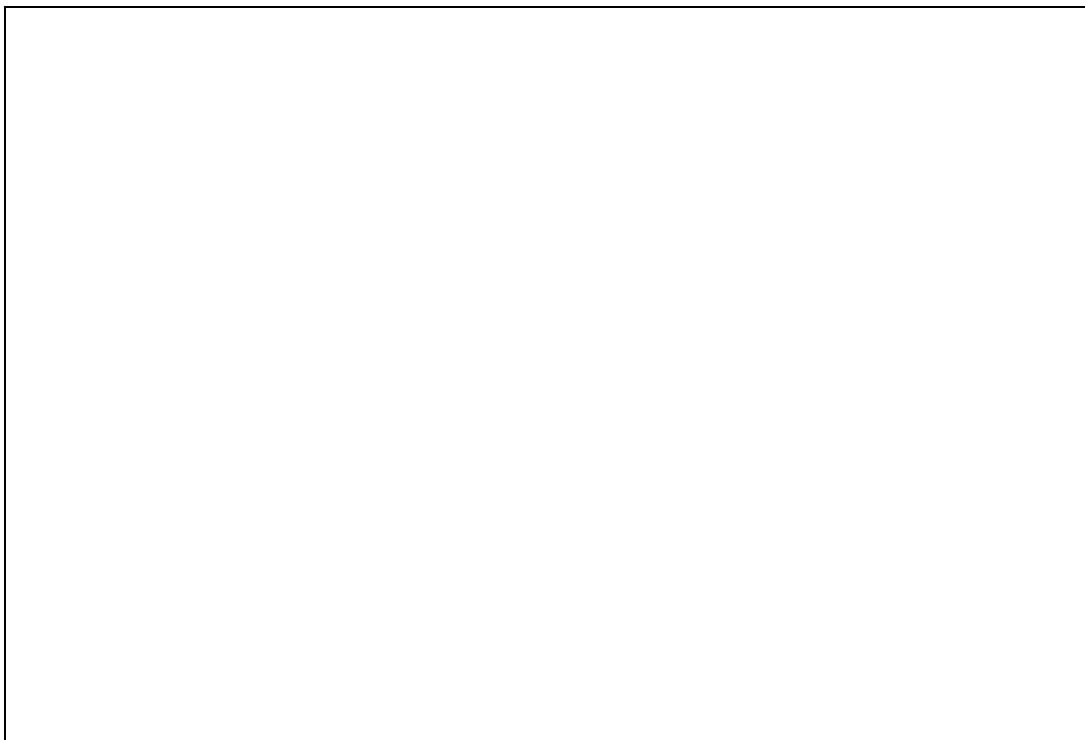
Penelitian selanjutnya dapat menggunakan teknik pembatasan arus gangguan lainnyaseperti *superconducting fault current limiter* dan *solid state fault current limiter* karena *Current limiter Reactor* sertamempelajaricarakerjanya masing-masing, dalam pengembangannya, peneliti selanjutnya dapat memperhatikan kelengkapan data.

DAFTAR PUSTAKA

- [1].Salih Khairus., Sukma Dian., Yayan. Ervianto Edi. 2015. Analisis Penggunaan Reaktor Pembatas Arus Sebagai Pembatas Arus Hubung Singkat di PT.Pulp and Paper, Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau
- [2].Seyedi Teresh., Tabei Barzan. 2012. *Appropriate Placement of Fault Current Limiting Reactors in Different HV Substation Arrangement*
- [3].Suswanto, Damam. 2009. Sistem Distribusi Tenaga Listrik, Padang,
- [4].Yuntyansah Primadan Arief., Unggul Wibawa., Teguh Utomo. 2014. Studi Perkiraan Susut Teknis dan Alternatif Perbaikan Pada Penyulang Kayoman Gardu Induk Sukorejo, Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya
- [5].<http://ilmulistrik.com/sistem-jaringan-distribusi-tenaga-listrik.html>, 12 Desember 2016

[6].<https://wongelit.wordpress.com/20140426/teori-hubung-singkat-short-circuit.html>, 14 mei 2017

LAMPIRAN





PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

PT. BNI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

**BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

Nama : Ilham Nanda Gangga Kuswara
NIM : 13.12.027
Program Studi : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik S-1
Judul Skripsi : **ANALISIS PENEMPATAN REAKTOR SERI UNTUK
MEMBATASI ARUS GANGGUAN HUBUNG SINGKAT DI
GARDU INDUK PANDAAN**

Dipertahankan dihadapan Majelis Penguji Skripsi jenjang Strata Satu (S-1) Pada:

Hari : Rabu
Tanggal : 9 Agustus 2017
Dengan Nilai : 76.15 (B+) *mm*

Panitia Ujian Skripsi

Ketua Majelis Penguji

Dr. Irrine Budi Sulistiawati, ST, MT
NIP. 197706152005012002

Sekretaris Majelis Penguji

Dr. Eng. I Komang Somawirata, ST, MT
NIP.Y. 1028700172

Anggota Penguji

Penguji I

Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT
NIP. Y. 1018800189

Penguji II

Ir. Teguh Herbasuki, MT
NIP.Y. 1028700172





PT. BNI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG

PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI

Dari hasil ujian skripsi Program Studi Teknik Elektro Jenjang Strata Satu (S-1) yang Diselenggarakan pada :

Hari : Rabu

Tanggal : 9 Agustus 2017

Telah Dilakukan Perbaikan Skripsi oleh :

Nama : Ilham Nanda Gangga Kuswara

NIM : 13.12.027

Program Studi : Teknik Elektro S-1

Konsentrasi : Teknik Energi Listrik S-1

Judul Skripsi : **ANALISIS PENEMPATAN REAKTOR SERI UNTUK MEMBATASI ARUS GANGGUAN HUBUNG SINGKAT DI GARDU INDUK PANDAAN**

No	Materi Perbaikan	Paraf
1	Rumusan Masalah, Tujuan, Kesimpulan, Lampiran	

Dosen Penguji II

Ir. Teguh Herbasuki, MT
NIP. Y. 1038900209

Dosen Pembimbing I

Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE
NIP.Y. 1018500108

Dosen Pembimbing II

Lauhil Mahfudz Hayusman, ST, MT.
NIP. P. 1031400472





PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

PT. BNI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI

Dari hasil ujian skripsi Program Studi Teknik Elektro Jenjang Strata Satu (S-1) yang Diselenggarakan pada :

Hari : Rabu

Tanggal : 9 Agustus 2017

Telah Dilakukan Perbaikan Skripsi oleh :

Nama : Ilham Nanda Gangga Kuswara

NIM : 13.12.027

Program Studi : Teknik Elektro S-1

Konsentrasi : Teknik Energi Listrik S-1

Judul Skripsi : **ANALISIS PENEMPATAN REAKTOR SERI UNTUK MEMBATASI
ARUS GANGGUAN HUBUNG SINGKAT DI GARDU INDUK
PANDAAN**

No	Materi Perbaikan	Paraf
1	Pada flowchart decision ada batasan $6 \times I$ nominal, tetapi hasil simulasi masih lebih dari batasan	
2	Judul gambar di beri indeks nomor sesuai daftar pustaka	

Dosen Penguji I

Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT
NIP. Y. 1018800189

Dosen Pembimbing I

Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE
NIP.Y. 1018500108

Dosen Pembimbing II

Lauhil Mahfudz Hayusman, ST, MT.
NIP. P. 1031400472



MONITORING BIMBINGAN SKRIPSI SEMESTER GENAP TAHUN AKADEMIK 2017-2018

Nama Mahasiswa : Ilham Nanda Gangga Kuswara
NIM : 1312027
Nama Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Abraham Lomi, MSEE
Judul Skripsi : Analisis Penempatan Reaktor Seri Untuk Membatasi Arus Gangguan Hubung Singkat pada Gardu Induk Pandaan

Minggu Ke-	Hari, Tanggal	Waktu Bimbingan	Materi Bimbingan	Paraf
1	Senin, 20-3-2017	10.00	- Metode Pemasangan Reaktor	
2	Rabu, 12-4-2017	09.00	- Perhitungan dan penempatan reaktor	
3	Selasa, 25-4-2017	10.00	- Single line diagram	
4	Kamis, 25-5-2017	10.00	- Revisi makalah seminar hasil	
5	Kamis, 1-6-2017	10.00	- ACC makalah seminar hasil	
6	Selasa, 25-7-2017	11.00	- Revisi laporan skripsi	
7	Rabu, 26-7-2017	08.00	- ACC lapoan Skripsi	

Malang, 2017
Dosen Pembimbing I,

Prof. Dr. Ir. Abraham Lomi, MSEE
NIP.Y. 1018500108



PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

Kampus II : Jl. Raya Karanglo Km. 2 Malang

MONITORING BIMBINGAN SKRIPSI SEMESTER GENAP TAHUN AKADEMIK 2017-2018

Nama Mahasiswa : Ilham Nanda Gangga Kuswara
NIM : 1312027
Nama Pembimbing : Lauhil Mahfudz Hayusman, ST, MT.
Judul Skripsi : ANALISA PENEMPATAN REAKTOR SERI UNTUK
MEMBATASI ARUS GANGGUAN PADA GARDU
INDUK PANDUAN

Minggu Ke-	Hari, Tanggal	Waktu Bimbingan	Materi Bimbingan	Paraf
1	Kamis 16/3 2017	10.25	- Metode Penempatan CLR - Review Judul yg ada - Konsep di Per Teles	
2	Senin 20/3 2017	12.40	- Data GI - skema CLR - Cara kerja	
3	Selasa 2/5 2017	10.00	- Single line diagram	
4	Kamis 9/5 2017	11.00	- Letak belatung diperjelas masalahnya! - Rumus masalah, Tujuan dan batasan.	✓
5				
6				
7				

**MONITORING BIMBINGAN SKRIPSI**

SEMESTER GENAP TAHUN AKADEMIK 2017-2018

Nama Mahasiswa : Ilham Nanda Gangga Kuswara
NIM : 1312027
Nama Pembimbing : Lauhil Mahfudz Hayusman, ST, MT.
Judul Skripsi : ANALISA PENEMPATAN REAKTOR SERI UNTUK
MEMBATASI ARUS GANGGUAN PADA GARDU
INDUK PANDAN

Minggu Ke-	Hari, Tanggal	Waktu Bimbingan	Materi Bimbingan	Paraf
1				
2				
3				
4	Senin 8/5 2017	11-30	Ace Bab I Revisi Bab II dan Bab III	
5	Senin 15/5 2017	11-00	flowchart, dijelaskan / dideskripsikan data yang diambil di lapangan (G. Pandan)	
6	Senin 22/5 2017	10-00	Perbaiki flowchart, trekahan skema gangguan	
7	Rabu- 29/5 2017	10-00	Ace Bab III.	
8	Jumat 26/5 2017	13-50	Revisi Bab IV; Perbaiki Bab V.	

SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Ilham Nanda Gangga Kuswara

NIM : 1312027

Jurusan / Konsentrasi : Teknik Elektro S-1

ID KTP / Paspor : 3507090501950003

Alamat : Dusun Madyorenggo Rt 02 / Rw 04 Desa Talok Kecamatan
Turen Kab Malang

Judul Skripsi : ANALISIS PENEMPATAN REAKTOR SERI UNTUK
MEMBATASI ARUS GANGGUAN HUBUNG SINGKAT DI
GARDU INDUK PANDAAN

Dengan ini menyatakan bahwa Skripsi yang saya buat adalah hasil karya sendiri, bukan merupakan hasil plagiarisme dari karya orang lain. Dalam Skripsi ini tidak memuat karya orang lain, kecuali dicantumkan sumbernya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Apabila ternyata di dalam skripsi inidapat dibuktikan terdapat unsur-unsur plagiarisme, maka saya bersedia skripsi ini di gugurkan dan gelar akademik yang telah saya peroleh (S-1) di batalkan, serta di proses sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Malang, 16 Agustus 2017

Yang Membuat Pernyataan



Ilham Nanda Gangga Kuswara
NIM. 1312027